Elektrotechnik

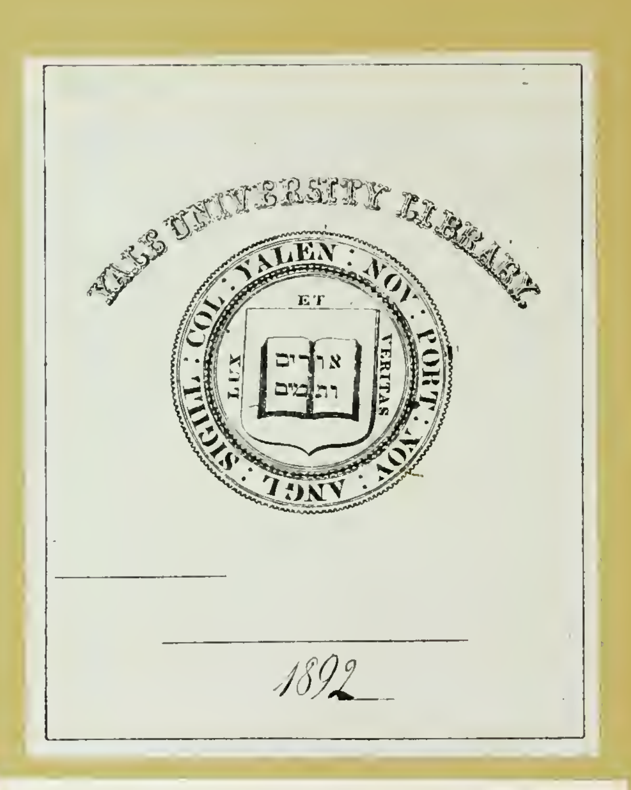
für

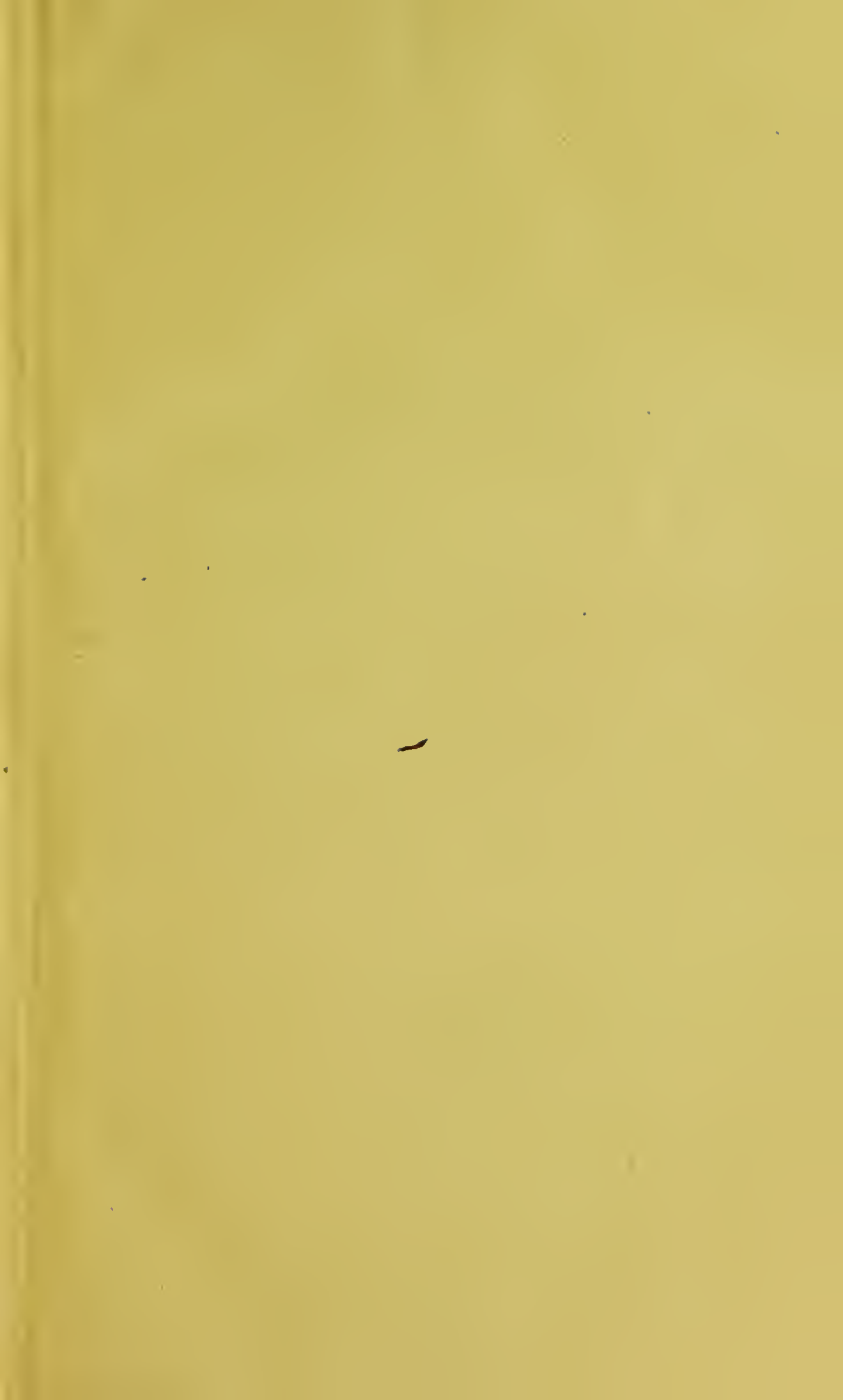
Aerzte

von

Dr. M. Th. Edelmann.

München.
Verlag von Fr. Bassermann.
1890.


YALE UNIVERSITY LIBRARY
SIGILL : COL : YALEN : NOV : PORT : NOV : ANGL :
ET
LUX
VERITAS
אורים
ותמים
1892





ELEKTROTECHNIK

FÜR

ÄRZTE

VON

DR. M. TH. EDELMANN.

MIT 104 ABBILDUNGEN IM TEXT.

(ALS MANUSCRIPT GEDRUCKT.)



MÜNCHEN.
VERLAG VON FR. BASSERMANN.
1890.

Vorwort.

Durch den elektrotechnischen Congress in Paris wurde am 21. September 1881 beschlossen, dass man von nun ab die allen praktischen elektrischen Messungen zu Grunde zu legenden Maasseinheiten dem absoluten elektromagnetischen Maasssysteme (Gauss und Weber) entnehmen werde.

Für die Maasseinheiten sind bei dieser Gelegenheit die nöthigen wissenschaftlichen Definitionen und auch ihre Namen: Ampère, Ohm, Volt etc. festgesetzt worden.

Unmittelbar nach diesem Congresse wurden auf Veranlassung v. Ziemssen's durch meine Werkstätten die absolut geaichten sog. Taschengalvanometer und etwas später auch die Einheitsgalvanometer den Medicinern zur Verfügung gestellt, welche wenigstens den constanten Strom nach Ampères, respective Milliampères, zu messen erlaubten.

Es ist nicht zu leugnen, dass seit dieser Zeit und mit der allmählig allgemein gewordenen Verbreitung dieser und ihnen nachgebildeter Apparate vieles von der früher herrschenden Unsicherheit in elektromedicinischen Dingen verschwunden ist, und dass durch die unmittelbare Vergleichbarkeit der Versuche und Resultate verschiedener Forscher grosse Fortschritte angebahnt wurden.

Auch für die Widerstandsmessung des Durchströmten existiren ausgebildete Methoden, welche aber bis jetzt nur seltener angewendet wurden, weil sie vielleicht nicht so unmittelbar wichtig erscheinen.

Dagegen fehlte bislang für die Inductionsströme jede Vergleichbarkeit und jede Messungsweise in Rücksicht auf ihre physiologische Wirkung vollkommen. —

Das Buch beginnt mit jenen physikalischen Thatsachen und Erscheinungen, an welche man sich bezüglich der Auffassung des weiteren Inhaltes erinnern muss. In der Folge

findet man Erläuterungen über das absolute elektromagnetische Maasssystem, die internationalen elektrischen Maasseinheiten und ihren Zusammenhang mit jenen und untereinander.

Der abschliessende Theil enthält die nöthigsten Angaben über die Lehre, Einrichtung, Aichung, Aufstellung, Untersuchung und Anwendung der Instrumente für (absolute) Messungen und Dosirungen.

Im ersten Theile findet man auch Erläuterungen über eine neue Art zur genauen Ortsbestimmung von Stahltheilen (Nähnadeln) im Körper vermittelst des Lamont'schen Magnetoskops. Ich glaubte, dieses Verfahren und die zugehörigen Messungsvornahmen, welche in letzter Zeit einige Beachtung gefunden haben, gerade in diesem Buche veröffentlichen zu sollen, weil die zum Verständnisse desselben nöthigen physikalischen Grundsätze hier ohnedies schon abgehandelt sind. Aus demselben Grunde ist in dem Werk auch der Arnheim'sche thermoelektrische Apparat für Untersuchung der Wärmeausstrahlung der Hautoberfläche aufgenommen.

Wenn ich in der Hauptsache Instrumente der näheren Betrachtung unterwerfe, welche aus den meiner Leitung unterstehenden Werkstätten hervorgehen, so geschieht dies, weil fast alle einschlägigen Apparate an diesem Orte zuerst entstanden sind, dieselben die weiteste Verbreitung und Anwendung gefunden haben. Durch das Studium dieser wird man sehr leicht, hauptsächlich mit Hilfe des ausgezeichneten Werkes »Prof. R. Lewandowski's Elektrodiagnostik und Elektrotherapie, Wien 1887«, auch andere verstehen und behandeln können. Das über absolute Mengengabe der Inductionsströme hier Ausgesprochene ist, wie ich glaube, neu und noch nirgends beschrieben.

Ich habe in vorliegendem Werke von der Anwendung mathematischer Formeln möglichst abgesehen und das Gegebene mehr durch Erklärungen als durch strenge Entwickelungen zu verständlichen versucht.

MÜNCHEN 1890.

Dr. M. Th. Edelmann.

Inhalt.

I. Physikalischer Theil.

Seite

II. Die Maasseinheiten der Elektrotechnik. Bestimmung der erdmagnetischen Horizontal-Intensität.

III. Die elektromedicinischen Präcisionsapparate.



Druckfehler.

pag. 34 statt $E_1 = \frac{S}{W}$ zu setzen $E_1 = S \times W$

statt $\Delta = \frac{S}{W}$ Volt zu setzen $\Delta = S \times W$ Volt

statt $\Delta = \frac{S}{W + w}$ Volt zu setzen $\Delta = S \times (W + w)$ Volt

statt $\Delta = \frac{S}{W + w + r}$ Volt zu setzen $\Delta = S \times (W + w + r)$ Volt

statt $E = \frac{S}{R + W + w + r}$ zu setzen $E = S \times (R + W + w + r)$

pag. 35 statt $\Delta = \frac{S}{W + w}$ Volt zu setzen $\Delta = S \times (W + w)$ Volt.

I. Physikalischer Theil.

Leiter. Isolatoren.

Wenn man einen Körper, der freie Elektricität aus irgend welcher Ursache besitzt, mit irgend einem zweiten Körper berührt, so sind zwei Möglichkeiten vorhanden: **1.**

Entweder die Elektricitat theilt sich dem berührenden Körper mit und verbreitet sich über ihn; dann hat dieser Körper die Eigenschaft, Elektricität zu »leiten«;

Oder es bleibt die Elektricität trotz einer solchen Berührung doch insgesammt auf dem ersten Körper; dann ist hieraus zu ersehen, dass der berührende Körper nicht im Stande ist, Elektricität von einem anderen aufzunehmen und weiter zu leiten; er »isolirt«.

Durch diesen Unterschied rücksichtlich der Fortpflanzungsfähigkeit der Körper gegenüber der Elektricität trennen sich dieselben in zwei grosse Gruppen: in die der Leiter und die der Isolatoren.

2. Nichtleiter sind bekanntlich: Luft, Glas, Holz, Papier, alle Harz- und Gummiarten (Kautschuk, Hartgummi, Schellack etc.), Bein, Porzellan, Paraffin, Seide, Baumwolle u. s. w. unter der Voraussetzung, dass diese Substanzen trocken sind. Leiter sind: 1. Alle Metalle, Kohle und manche Mineralien, z. B. Braunstein: diese bezeichnet man als Leiter erster Classe. 2. Wasser, in welchem Säuren, Alkalien oder Salze gelöst sind etc.: Leiter zweiter Classe. — Ganz reines Wasser ist Isolator.

Dadurch, dass man den Leiter, welcher den elektrischen Körper berührt, in passender Form, z. B. in der des Drahtes anwendet, und ferner dadurch, dass man überall, wo solche Drähte nicht frei durch die Luft gehen, sondern dort, wo sie irgendwo aufliegen, mit Isolatoren umgibt, ist die Möglichkeit vorhanden, der Elektricität von einem elektrisirten Körper oder von irgend einer Quelle der Elektricität aus einen ganz bestimmten Weg für ihre Verbreitung oder Fortpflanzung vorzuschreiben. Diesem Umstande verdankt man, dass die Eigenschaften der Elektricität erkennbar werden und dass man dieselben verwenden kann.

Positive und negative Elektricität.

3\. Man hat im Laufe der Zeit eine ganze Reihe von verschiedenen Verfahren entdeckt, durch welche man Elektricität erzeugen — die Körper »elektrisiren« oder elektrisch »laden« kann. Ein solches Mittel und zugleich das älteste und bekannteste ist: zwei verschiedenartige Körper an einander zu reiben, z. B. Bernstein oder Siegellack an Wolle oder Pelz, Glas an Kautschuk oder Amalgam u. s. w. Bekannt ist, dass solche geriebene Körper kleine unelektrische Stückchen Papier oder Hollundermarkkügelchen an sich ziehen und, nachdem solche durch die Berührung selbst elektrisch geworden sind, wieder abstossen. Ferner ist bekannt, dass von derartigen stark geriebenen Materialien auf einen nahe gebrachten Leiter, z. B. den Knöchel der Hand, kleine, im Dunkeln violett leuchtende Funken überspringen.

4\. Jederzeit ist zu bemerken, dass beide Körper, welche an einander gerieben worden sind, gleichzeitig elektrisch wurden und dass — bei gehöriger Vorsicht in der Isolirung derselben nachzuweisen — auch gleichviele Elektricität auf beiden entstanden sei. Jedoch sind die beiderseitigen Elektricitäten durchaus nicht in allen ihren Eigenschaften übereinstimmend, wie man bekanntlich durch folgende Versuche begründen kann.

5\. Man hänge an einem (isolirenden) Seidenfaden ein Hollundermarkkügelchen auf. Nun reibe man mit einem Kautschuklappen einen Glasstab so lange, bis in Folge der Anhäufung entstandener Elektricität das Knistern der abspringenden elektrischen Funken hörbar wird. Jetzt berührt man mit der Glasstange das Hollundermarkkügelchen, wodurch demselben Elektricität von der Glasstange mitgetheilt wird. Dieses elektrisirte Kügelchen kann nun zur Nachweisung und Erkennung der Art der Elektricität verwendet werden.

Bringt man in die Nähe desselben den elektrischen Glasstab, so sieht man, dass das Kügelchen abgestossen wird. Da beide Dinge — Kügelchen und Glasstab — natürlich die gleiche Elektricitätsart enthalten, so ergibt sich hieraus, dass Glaselektricität und Glaselektricität sich gegenseitig abstossen. Anders verhält es sich, wenn man in die Nähe des Kügelchens jetzt den durch das Reiben ebenfalls elektrisch gewordenen Kautschuklappen bringt. Das Kügelchen wird lebhaft angezogen. Daraus schliesst man, dass die Elektricität des Kautschuks eine andere als die des Glases ist.

Ebenso lässt sich der Versuch auch umgekehrt anstellen, indem man das Kügelchen mit der Elektricität des Kautschuks lädt; dann wird dasselbe vom Kautschuk abgestossen, vom Glasstabe angezogen.

6. Die so entwickelte Elektricität des Glases **heisst** positive, die des Kautschuks negative Elektricität. Aus obigen Versuchen ergibt sich, dass gleichartige Elektricitäten sich abstossen, ungleichartige sich anziehen. Es ist jedoch zu betonen, dass ein und derselbe Körper unter verschiedenen Umständen verschieden elektrisch — positiv oder negativ — werden kann.

Man kennt bis jetzt nur diese beiden Arten von Elektricität, welche unter allen Bedingungen gleichzeitig auftreten und vorhanden sind, so oft und so lange jene Ursache kommt und fortdauert, die ihre Entstehung hervorbrachte.

Entladung. Natürlicher Zustand. Dichtigkeit.

7. Beiden Elektricitäten — sie mögen auf irgend eine beliebige Weise entstanden sein — wohnt nicht nur das Bestreben inne, sich gegenseitig anzuziehen, sondern auch sich zu vereinigen. Werden zwei leitende Körper, von denen der eine mit positiver, der andere mit negativer Elektricität geladen ist, sich nahe gebracht, so springt zwischen beiden ein elektrischer Funke über und es geschieht eine Vereinigung der beiden Elektricitäten, und zwar: Waren auf beiden Körpern gleiche Mengen der beiden Elektricitäten vorhanden, so sind durch die Berührung die Ladungen vollkommen verschwunden und die Körper in den unelektrischen — natürlichen — Zustand wieder zurückgetreten. War in Folge besonderer Versuchsanordnung von der einen Elektricität mehr vorhanden, so bleibt nach der Berührung auf beiden Körpern nur das »Zu viel« dieser Elektricität übrig. Das zugehörige gleiche Quantum »Zuviel« der anderen Elektricitätsart bleibt aber ebenfalls unverbunden irgendwo vorhanden.

8. Man kann desshalb sagen, dass ein unelektrischer Körper in seinem natürlichen Zustande gleichviel positive und negative Elektricität in sich vereinigt enthält, und dass bei dem Auftreten einer elektrisirenden Ursache — einer »elektromotorischen« Kraft — eine Trennung dieser Elektricitäten eintrete.

Je nachdem eine bestimmte Menge von Elektricität von einem grösseren oder kleineren Leiter aufgenommen worden ist, sagt man,

dass deren Dichtigkeit oder Spannung kleiner oder grösser sei — ebenso: je nachdem weniger oder mehr Elektricität auf den gleichen Körper übergegangen ist.

Galvanische oder Contactelektricität.

9. Nicht nur die Reibung zweier Körper an einander erzeugt Elektricität — Reibungselektricität —, sondern es genügt unter gewissen Umständen zur Aufhebung des natürlichen Zustandes schon die einfache Berührung. Die Entstehung von Elektricität auf diesem Wege — der Contactelektricität oder galvanischen Elektricität — ist Gegenstand der nachfolgenden Erläuterungen.

Es zeigt sich nämlich, dass dann, wenn ein Leiter erster Classe: ein Metall, Kohle, Braunstein etc. — mit einem geeigneten Leiter zweiter Classe: Säure, Salzlösung etc. — in Berührung kommt, hiedurch eine Scheidung der Elektricitäten von der Berührungsstelle aus geschieht, dass sogenannte Contactelektricität auftritt. Nothwendige Bedingung für die Entstehung von Elektricität auf diesem Wege ist, dass die beiden sich berührenden Substanzen auf einander chemisch wirken. Berühren sich zwei gegenseitig chemisch indifferente Körper, so entsteht keine Contactelektricität.

Taucht man z. B. in verdünnte Schwefelsäure verschiedene Metalle, so wird dadurch Zink stark, Eisen weniger, Kupfer schwach negativ; dagegen Platin positiv elektrisch. Die Schwefelsäure lädt sich natürlich in jedem einzelnen Falle entgegengesetzt. Berühren sich dagegen zwei Metalle, so hat man zwar finden können, dass dadurch ebenfalls Elektricitätsentwicklung stattfinden kann. Wir wollen jedoch diese Erscheinung hier zunächst noch nicht weiter in Betracht ziehen. (Siehe das Kapitel über Thermoströme.)

Die elektromotorische Kraft. Der galvanische Strom. Das galvanische Element oder die einfache Kette.

10. An jener Stelle also, wo ein Metall durch Eintauchen in einen Leiter zweiter Classe, meist eine wässerige Lösung, von diesem benetzt wird und zugleich chemische Reaktion eintritt, findet die Scheidung der beiden Elektricitäten statt. Es zeigt sich sogar von diesem Orte aus ein förmliches Treiben der beiden Elektricitäten, der einen nach dem Metalle, der anderen nach der Flüssigkeit hin

und zwar mit einer bestimmten Kraft, die man elektromotorische Kraft nennt, und deren Grösse abhängig ist von der Intensität der chemischen Vorgänge, welche unter den bezüglichen Verhältnissen auftreten.

11. Die elektromotorische Kraft wirkt so lange elektricitätserzeugend, bis dieser Function durch die Spannung und gegenseitige Anziehung der freien Elektricitäten, welche auf Metall und Flüssigkeit hervorgebracht wurden, eine Grenze gesetzt ist. Wird z. B. Zink in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, so werden fort und fort Elektricitäten entwickelt und zwar so lange, bis so viele negative Elektricität auf dem Zink — andererseits so viele positive Elektricität auf der Schwefelsäure angehäuft ist, dass die Kraft, mit welcher sich entgegengesetzte Elektricitäten überhaupt gegenseitig anziehen und die ihr entgegengesetzt wirkende elektromotorische Kraft, welche die beiden Elektricitäten auseinandertreibt, sich an der Berührungsstelle gerade das Gleichgewicht halten. Da jedoch die Ausbreitung der Elektricitäten über das Zink und die Schwefelsäure und alle Körper, die mit diesen beiden Stoffen allenfalls noch in leitender Verbindung stehen, in fast unmessbar kurzer Zeit erfolgt, so wird die mögliche Spannung der Elektricitäten im Augenblicke des Eintauchens vollkommen erreicht.

12. Werden zwei verschiedene Leiter erster Classe, z. B. Zink und Platin, in einen Leiter zweiter Classe, z. B. verdünnte Schwefelsäure, eingetaucht — Fig. 1 —, so treten zwei elektromotorische Kräfte zugleich auf; durch die Berührung von Zink mit Schwefelsäure wird [9] das Zink negativ, die Schwefelsäure positiv; durch Leitung verbreitet sich von der Schwefelsäure aus positive Elektricität auf das Platin. Es entsteht aber auch durch den Contact von Platin mit Schwefelsäure eine elektromotorische Kraft. Da durch die letztere Platin positiv, Schwefelsäure negativ wird, so erhöht sich die schon vorhandene Spannung des Platins um einen bestimmten Betrag, welcher eben durch diese zweite elektromotorische Kraft bedingt ist. Wie vorhin erhöht sich jetzt auch auf dem Zink mit Leitung durch die Schwefelsäure von dieser zweiten elektromotorischen Kraft die negative Spannung. In der Schwefelsäure stehen jetzt zwei Metalle, die entgegengesetzt und gleich stark geladen sind.

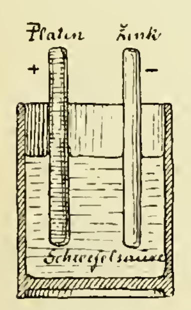


Fig. 1.

13. Verbindet — schliesst — man nun die zwei Metalle leitend mit einander, indem man an die beiden aus der Flüssigkeit vorstehenden Enden einen Metalldraht befestigt, so wird den beiderseitigen Elektricitäten Gelegenheit gegeben, sich zu vereinigen. Da jedoch durch diese Entladung die elektrische Spannung auf den beiden Metallen verschwindet, so können die elektromotorischen Kräfte sofort in Wirksamkeit treten und neue Elektricitätsmengen erzeugen, welche sich aber, sowie sie entstanden sind, durch den Draht sofort wieder ausgleichen. Dieses Spiel der Entstehung und des Ausgleichs der Elektricitäten findet durch den ganzen hier vorhandenen Kreis von Leitern, hier Platin, Draht, Zink, Schwefelsäure, Platin, so lange sie unter sich in unveränderter Beschaffenheit verbunden bleiben, fortdauernd statt. Die Elektricitäten durchströmen diese Materialien förmlich. Man nennt diesen Vorgang den galvanischen Strom oder nach dem Sprachgebrauche der Elektrotherapeuten constanten — continuirlich wäre richtiger — Strom.

14. Die Zusammenstellung von Leitern erster und zweiter Classe in einem Gefässe zum Zwecke der Erzeugung des galvanischen Stromes heisst ein galvanisches Element oder einfache galvanische Kette. — Für die Grösse der elektromotorischen Kraft ist die angewandte Form und Grösse der Metalle, sowie die Form des verwendeten Gefässes vollkommen gleichgiltig.

15. Es kommt vor, dass ein bestimmtes Metall in einer gewissen Flüssigkeit, z. B. Zink in Schwefelsäure, stark negativ elektrisch; dass ferner ein zweites Metall, jedoch in einer anderen Flüssigkeit stark positiv wird, z. B. Platin in concentrirter Salpetersäure, und dass es desshalb, oder aus irgend welchen anderen Gründen, praktisch erscheint, vier solche Substanzen mit ihren beiden elektromotorischen Kräften zu einem Elemente zu vereinigen. Damit sich aber die beiden Flüssigkeiten nur berühren und nicht durcheinander mischen können, giesst man die eine Flüssigkeit in ein poröses Gefäss A Fig. 2 — Diaphragma, Thonzelle — aus gebranntem, aber nicht glasirtem Porzellan, welches in der anderen Flüssigkeit steht; die Flüssigkeiten dringen durch die Poren bis zur gegenseitigen Berührung ein, und in die beiden Flüssigkeiten werden nun die beiden Leiter erster Classe eingetaucht.

A Diaphragma, *B* Schwefelsäure, *C* Salpetersäure.

Fig. 2.

Die galvanische Batterie, ihre Pole. Stromesrichtung.

16. Zum Zwecke der Erzeugung von stärkeren galvanischen Strömen genügt unter Umständen ein einziges Element nicht; es müssen dann im Bedürfnissfalle mehrere zur galvanischen Batterie oder Säule unter sich verbunden werden. Dies geschieht dadurch, dass man eine erforderliche Anzahl einzelner Elemente in eine Reihe ordnet und nun, wie Fig. 3 zeigt, je ein Metall des einen Elementes mit dem anderen Metalle des nächsten Elementes irgendwie, z. B. mit Hilfe eines Metalldrahtes leitend verbindet. Dadurch kommen alle jene Metalle, auf welchen durch ihre Berührung mit der Flüssigkeit negative Elektricität entsteht, nach dem einen, umgekehrt jene, welche positive erzeugen, nach dem anderen Ende der Reihe hin zu stehen, so dass also jede Leitung von einem Elemente zum nächsten ein positiv werdendes Metall mit einem negativ werdenden verbindet.

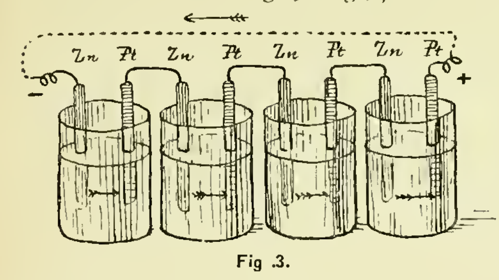


Fig .3.

Wird nun, wie in Fig. 3 mit einer punctirten Linie angezeigt ist, durch eine leitende Verbindung das noch freie Metall des ersten Elementes mit jenem des letzten Elementes verbunden, d. h. die galvanische Batterie geschlossen, so findet von diesem Augenblicke an der stetige Ausgleich der an allen elektromotorischen Stellen entwickelten Elektricitäten in Form eines galvanischen Stromes statt, der den Schliessungsdraht, wie aber auch leicht ersichtlich, die sämmtlichen Theile der Batterie durchfluthet. Jede einzelne elektromotorische Kraft unterstüzt alle übrigen in ihrer Wirkung und wenn auch die Leistung einer einzelnen für sich keine auffallende ist, so können durch die Summirung vieler solcher, d. h. durch die Zusammenstellung vielelementiger Batterien doch grosse Wirkungen erzielt werden.

17. Ist die Batterie nicht geschlossen, so schickt jede einzelne elektromotorische Stelle durch Leitung die ihr eigenthümliche elektrische Spannung bis an die beiden Enden der Batterie; es häufen sich auf den freien Metallen des ersten und letzten Elementes und auch auf Allem, z. B. Leitungsdrähten, Contacten etc., was mit

denselben in leitender Verbindung ist, die beiden Elektricitäten an. Diese freien unverbundenen Enden der offenen Batterie heissen die Pole derselben und zwar je nach der Art der zuströmenden Elektricität positiver oder negativer Pol. Da das Zink in allen gebräuchlichen Batterien verwendet und dort negativ wird, so ist das letzte Zink oder das Ende eines mit demselben verbundenen Leiters immer der negative, der andere der positive Pol.

18. Es strömt zwar bei Stromschluss ebensowohl die positive Elektricität durch den Schliessungsdraht zum negativen über, als auch umgekehrt die negative Elektricität zum positiven Pole; jedoch bezeichnet man nach allgemeinem Gebrauche mit dem Ausdrucke Stromesrichtung diejenige, in welcher die positive Elektricität verläuft. Fig. 3. Der Strom geht also im Schliessungsbogen zum ersten Zink hin, innerhalb der Batterie von diesem hinweg.

Elektrolyse. Elektrolyse innerhalb der Elemente.

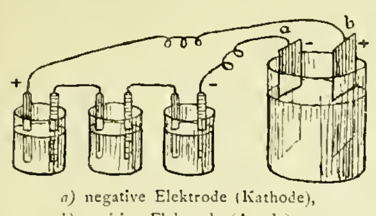
19. Es ist durchaus nicht nöthig, dass der Schliessungsbogen durchgängig aus Metall bestehe. Man kann auch Leiter zweiter Classe, z. B. Flüssigkeitsschichten, Muskeln etc. in denselben einschalten und vom galvanischen Strome durchfliessen lassen. Jedoch muss man jederzeit sorgfältig darauf achten, dass in dem ganzen vom Strome zu durchfliessenden Kreise von Elementen und Leitern die Berührungsstellen, durch welche der Strom von einem Materiale auf ein anderes überzugehen hat, genügende Sicherheit der Leitungsfähigkeit darbieten, da der galvanische Strom schon durch die dünnsten Oxydschichten an seinem Verlaufe gehindert werden kann.[1])

20. Geht der galvanische Strom von einem Metalle auf ein anderes, überhaupt von einem Leiter erster Classe auf wieder einen solchen über, so zeigt sich nicht die mindeste chemische Veränderung in denselben. Ganz anders verhält es sich, wenn der Strom zwischen Leitern erster und zweiter Classe übergeht. Hier tritt zugleich mit dem Uebergang der Elektricität von einem Stoffe auf den anderen und zwar an der Grenze beider ein chemischer Process — die Elektrolyse — ein. Derselbe beginnt in demselben Augenblicke wie der Strom, dauert so lange als dieser und erweist sich um so ergiebiger, je mehr Elektricität übergeht. Aus der Menge

[1]) Desshalb müssen alle Verbindungsdrähte an ihren Enden blank gemacht und die Klemmschrauben so fest als möglich angezogen werden.

der in einer bestimmten Zeit auftretenden chemischen Producte kann man einen genauen Rückschluss auf die Menge der durchströmenden Elektricitäten machen.

21. Wenn man den Strom einer Batterie in einen Leiter zweiter Classe einführen will, so versieht man jeden Pol der Batterie zunächst mit einem Leitungsdrahte, befestigt an jedes freie Ende derselben ein passend geformtes Metallstück, das man Elektrode heisst und bringt die beiden Elektroden *a* und *b* Fig. 4 durch Eintauchen in den zu durchströmenden Leiter, wenn derselbe eine Flüssigkeit ist, oder durch Andrücken (benetzter) Elektroden an zwei Orten derselben, wenn er ein fester Körper, z. B. ein Muskel ist, in leitende Verbindung. In letzterem Falle sagt man auch statt Elektroden: Contacte. Weder die Elektroden, noch die Zuleitungsdrähte dürfen dabei unter sich direkt in leitende Berührung kommen, weil sonst an solchen Stellen der Strom direct von Metall zu Metall übergeht, ohne das zu leisten, was man von ihm verlangt. An jener Stelle, wo die Elektroden mit dem Leiter zweiter Classe — dem Elektrolyten — in Berührung sind, also an der Grenze zwischen den Leitern erster und zweiter Classe, treten die Producte der chemischen Einwirkung durch den Strom, der Elektrolyse, auf. Enthält der Elektrolyt Wasser, was wohl unter allen Umständen der Fall ist, so kann man sich die Wirkung der Elektrolyse am besten vorstellen, wenn man annimmt, dass vor Allem dieses in seine beiden Bestandtheile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt werde. Der Wasserstoff scheidet sich an der negativen Elektrode (Kathode), — welche mit dem Zink in Verbindung ist — ab, der Sauerstoff an der positiven, der Anode.



a) negative Elektrode (Kathode),
b) positive Elektrode (Anode).

Fig. 4.

22. Bekanntlich haben aber alle chemischen Substanzen im Augenblicke ihres Auftretens (statu nascenti) eine hohe chemische Wirksamkeit und so scheiden sich auch Wasserstoff und Sauerstoff in Gasblasen nur dann an den Elektroden ab, wenn weder das Material derselben, noch die im Wasser enthaltenen Substanzen eine Veranlassung zu weiteren chemischen Processen bieten. So scheidet sich der Sauerstoff nur ab, wenn die positive Elektrode aus Kohle oder einem edlen Metalle besteht; im anderen Falle wird das Metall

vom Sauerstoff oxydirt, z. B. Zink, und wenn das Zink in verdünnter Schwefelsäure steht, das gebildete Zinkoxyd von derselben zu Zinkvitriol gelöst. Ist als Anode ein Stück Braunstein (Manganüberoxyd) verwendet, so verbindet sich der ausscheidende Wasserstoff sofort mit dem disponiblen Sauerstoff des Braunsteins, der dadurch in Manganoxyd übergeht. Oder ist ebendiese Elektrode aus Platin oder Kohle, welche in Salpetersäure oder Chromsäure stehen, so verbindet sich der ausgeschiedene Wasserstoff mit diesen sauerstoffreichen Säuren, indem er diese unter Wasserbildung desoxydirt. Besteht der Elektrolyt aus der Lösung eines alkalischen Salzes, so ist das Endproduct der Elektrolyse die Ablagerung von dessen Basis an der negativen, die der Säure am positiven Pole; bei den gelösten Salzen der Schwermetalle geht die Wirkung so weit, dass sich an der negativen Elektrode das Metall des Salzes,

23. z. B. Kupfer aus Kupfervitriol, Silber aus Silbersalzen ablagert. Auf diesem Verhalten der Schwermetallsalze beruht das Verfahren der Galvanoplastik. Bei den sogenannten Haloidsalzen tritt freies Chlor, Jod etc. an der positiven Elektrode auf, wenn anders die chemischen Eigenschaften der am Orte befindlichen Materialien dies gestatten.

Hat man Elemente zur Batterie verbunden und diese z. B. durch einen Draht geschlossen, so kann man jede Verbindung zwischen je zwei Elementen als den Schliessungsdraht der sämmtlichen Elemente ansehen; dadurch ergibt sich, dass durch jeden derselben der gleiche Strom verläuft. Dieselbe Menge von Elektricitäten fliesst aber auch innerhalb eines jeden galvanischen Elementes von den beiden Metallen aus durch die dazwischen liegenden Flüssigkeitsschichten, wobei ebensolche elektrolytische Erscheinungen auftreten. Die oben angegebenen Beispiele von elektrolytischen Processen beziehen sich gerade auf solche Vorgänge innerhalb der gebräuchlicheren Elemente.

Polarisation. Constante Elemente.

24. Auch in den Elementen scheiden sich die Zersetzungsproducte an den Metallen ab — Sauerstoff am Zink, Wasserstoff am anderen Metall — also gerade an jenen Stellen, die den Strom erzeugen. Werden hiedurch die Metall-Oberflächen oder die Flüssigkeiten in chemischer Beziehung verändert, so stehen jetzt statt der ursprünglichen Leiter erster und zweiter Classe anders gewordene miteinander

in Contact. Da indessen die elektromotorische Kraft jedes Contactes von den sich berührenden Materialien abhängt, so werden durch solche Vorgänge innerhalb der Elemente die elektromotorischen Kräfte verändert und zwar stets verkleinert. Man bezeichnet eine solche Abnahme oder das Auftreten von neuen elektromotorischen Kräften durch elektrolytische Abscheidungen mit dem Ausdrucke Polarisation. Eine solche und zwar von bedeutender Grösse tritt auch ein, wenn Sauerstoff oder Wasserstoff an den elektromotorisch wirkenden Stellen auftritt, wesshalb man in galvanischen Elementen, wenn sie brauchbar sein sollen, nicht nur das Auftreten dieser beiden Gase an den Leitern erster Classe verhindern muss, sondern auch jede chemische Oberflächenveränderung derselben überhaupt und ebenso eine grössere chemische Veränderung der aktiven Flüssigkeiten. Hat man nun durch zweckentsprechende Wahl der Metalle und Flüssigkeiten, welche man zur Zusammenstellung von Elementen verwendet, erreicht, dass einer Veränderung der elektromotorischen Kräfte innerhalb eines längeren Zeitraumes vorgebeugt ist, so heissen solche Elemente constante Elemente.

25. Durch die Möglichkeit, dass einzelne Substanzen der Elemente elektrolytisch veränderlich sind, entsteht der Strom; durch deren nach und nach erfolgende Veränderung wird die Stromdauer erzeugt und endlich durch den Verbrauch derselben gekauft, und das, was er leistete, also seine Arbeit, bezahlt, wesshalb der unzersetzte Vorrath an zu elektrolysirenden Substanzen in jedem Elemente einen Stromes- und Stromarbeits-Vorrath darstellt.

26. Man kann im Allgemeinen sagen, dass Elemente unter sonst gleichen Verhältnissen um so wirksamer sind, je leichter und energischer die erforderlichen elektrolytischen Processe — z. B. die Wegnahme oder Aufnahme von Sauerstoff und Wasserstoff — an den Contactstellen stattfinden; ein Chemiker, der für die Grösse der Verwandtschaft chemischer Substanzen zu Sauerstoff, Wasserstoff etc. sich anderweitig Erfahrungen gesammelt hat, kann darüber, welches von zwei verschiedenen Elementen wohl das elektromotorisch wirksamere sei, mit ziemlicher Sicherheit urtheilen, ohne die beiden Elemente je in Wirksamkeit gesehen und gemessen zu haben.

27. Um eine einfache Angabe für die Wirksamkeit der Elemente zu haben, nimmt man die Wirksamkeiten sämmtlicher innerhalb eines Elementes auftretenden elektromotorischen Kräfte zusammen.

Man bezeichnet diese Summe, also die gesammte Kraft, mit welcher von jedem Elemente aus die Scheidung der Elektricitäten und ihr Antrieb für den Verlauf des galvanischen Stromes stattfindet, mit dem Ausdrucke »elektromotorische Kraft des Elementes«.

28. Als Vergleichseinheit beim Messen elektromotorischer Kräfte und der durch sie hervorgebrachten elektrischen Spannungen nimmt die Elektrotechnik seit dem Pariser Congresse eine bestimmte elektromotorische Kraft, »Volt« genannt, an. Wir werden erst im weiteren Verlaufe dieser Abhandlungen dessen Erklärung und Ableitung geben können. Die Messungsresultate elektromotorischer Kräfte werden mit einer Ziffer bezeichnet und darauffolgendem *V*; so ist beispielsweise von einem Daniell'schen Elemente (Fleming's Normal-Element), bestehend aus chemisch reinem, nicht amalgamirten Zinkstab in Zinkvitriollösung (55,5 Gewichtstheile Zinkvitriol, 44,5 Wasser) und elektrolytischem Kupfer in Kupfervitriollösung (16,5 Kupfervitriol, 83,5 Wasser), ohne Diaphragma, die elektromotorische Kraft bei 20° C. = 1,072 *V*. (Siehe Uppenborn's Kalender für Elektrotechniker.) — Ferner:

Daniell: {amalgamirt. Zink in verd. Schwefels. (1/12) / Kupfer in concentr. Kupfervitriollösung} = 0,968 *V*

Leclanché: {amalgam. Zink i. Salmiaklösung (halbconc.) / Kohle u. Braunstein in Thonzelle} = 1,48 *V*

Meidinger: {Zink in Bittersalzlösung / Kupfer in Kupfervitriol} ohne Diaphragma = 0,652 *V*

Siemens Pappelement: {Zink in verd. Schwefelsäure / Kupfer in Kupfervitriollösung} = 0,896 *V*

Bunsen's Chromsäureelement: Zink u. Kohle in Chromsäurelösung etc. . . . . . = 2 *V*

Chlorsilberelement: Silber mit Chlorsilber umgossen und Zink, beide in Natronlösung von 28° Beaumé = 1,6 *V*.

Leitungswiderstand.

29. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität eine ausserordentliche — Tausende von Meilen in der Secunde — ist, so geschieht der Ausgleich der durch die elektromotorischen Kräfte continuirlich erzeugten Elektricitäten bei kurzen Stromwegen im Augenblicke ihres Entstehens. Man könnte hieraus den Schluss ziehen, dass bei der Schnelligkeit und Grenzenlosigkeit, mit der hier die Elektricitäten auftreten und verschwinden, unter allen Umständen

fast unendliche Mengen von Elektricität im Spiele sind. Diese Mengen sind auch in der That sehr bedeutend;[1]) indessen kommt hier ein Umstand in Betracht, der dieselben innerhalb genauer Grenzen einschliesst.

Bei dem Durchfliessen der Elektricität — sie kann auf irgend welche Weise entstanden sein — durch irgend einen Leiter, z. B. einen Leitungsdraht, eine Flüssigkeitsschicht, eine Muskelpartie, wird von Seite des Leiters ein gewisser Widerstand gegen den Durchgang der Elektricität entgegengesetzt. Das Auftreten solcher Leitungswiderstände, die bei keinem Leiter fehlen, bewirkt, dass eine vorhandene elektromotorische Kraft durch einen Leiter von gegebener Form und Substanz nur eine ganz bestimmte Elektricitätsmenge durchzutreiben im Stande ist. Dieser Widerstand ist um so grösser, je länger der Leiter und je kleiner sein Querschnitt ist, d. h. je weniger Quadratmillimeter sein Querschnitt fasst; umgekehrt ist dieser Widerstand um so kleiner, je kürzer und massiger der zu durchströmende Leiter geformt ist. Ausserdem hängt aber der Widerstand vom Materiale des Leiters in hohem Grade ab; er ist z. B. bei gleicher Gestalt für Salzlösungen viel grösser, als für Metalle. **30.**

Um die Grösse solcher Widerstände angeben und mit denselben rechnen zu können, ist es nöthig, für dieselben eine Maass-Einheit zu besitzen und man bezeichnet seit der Pariser Convention allgemein als Einheit jenen Widerstand, den ein Quecksilberfaden von 106 cm Länge und einem Quadratmillimeter Querschnitt bei der Temperatur des schmelzenden Eises dem Durchgange der Elektricität in den Weg legt. Ein solcher Widerstand heisst nach dem Entdecker des wichtigsten elektrischen Gesetzes »Ohm« und sein Zeichen besteht in dem Buchstaben Ω hinter der Ziffernangabe. In wiefern der Widerstand von dem Material des Leiters abhängt, zeigen die folgenden Zahlen.

---

[1]) Ein Bild davon, welche Elektricitätsmengen zum Stromverlaufe verwendet werden, geben W. Weber und R. Kohlrausch in »Elektrodynamische Maassbestimmungen«, Abhandlungen der k. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathem.-physikal. Classe 1856, III, 263: »Denkt man sich die von Elementen gelieferte Menge positiver Elektricität, welche nöthig ist, um neun Milligramm Wasser elektrolytisch in Sauerstoff und Wasserstoff zu zerlegen, auf einer Wolke, die einen Kilometer über der Oberfläche der Erde steht, angehäuft und auf eine gleiche Menge negativer Elektricität wirken, welche gerade unterhalb der Wolke auf der Erdoberfläche angehäuft ist, so würde jene mit einer Kraft angezogen werden, welche gleich 2268000 Kilogramm ist.

Prismen von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt haben die folgenden Widerstände:

Silber .	0,028 Ω
Kupfer .	0,056 Ω
Zink . .	0,094 Ω
Eisen	0,24 Ω
Platin	0,35 Ω
Neusilber	0,47 Ω
Quecksilber . . .	0,9434 Ω
Kohle der Bunsen'schen und Leclanché-Elemente	76 Ω
Braunstein . . .	760 Ω
Gesättigte Kupfervitriollösung	150000 Ω
Gesättigte Kochsalzlösung .	95000 Ω
Gesättigte Zinkvitriollösung .	190000 Ω
1 Vol. Schwefelsäure, 11 Vol. Wasser . . .	280000 Ω
Käufliche Salpetersäure .	28000 Ω
Destillirtes Wasser	4200000000 Ω
Brunnenwasser	9500000 Ω.

31. Will man mit Hilfe dieser Zahlen den Widerstand eines Leiters von gegebenen Dimensionen ausrechnen, so multiplicirt man die bezügliche Zahl mit der Länge des Leiters, die man in Metern auszudrücken hat und dividirt dann mit der Anzahl von Quadratmillimetern, die sein Querschnitt enthält. Man erhält dann den fraglichen Widerstand in Ohm. So hat z. B. ein runder Platindraht von 31 Centimetern Länge und 1 mm Dicke, wie er zu galvanocaustischen Versuchen zu gebrauchen wäre, folgenden Widerstand

$$W = \frac{0,35 \times 0,31^{m}}{\frac{1}{4} \times 1^2 \times 3,14} = 0,14\ \Omega.$$

Leitungsvermögen der Stoffe.

32. Leichter verständlich und übersichtlicher werden die Verhältnisse, welche bei dem Durchleiten des Stromes durch verschiedene Materialien rücksichtlich ihres Widerstandes auftreten, wenn man die Sache umkehrt und von der Leitungsfähigkeit der Materialien spricht. In diesem Sinne hat ein bestimmter Leiter die Fähigkeit,

von einer gegebenen elektromotorischen Kraft aus einer bestimmten Quantität von Elektricität den Durchgang zu gestatten. Er lässt — abgesehen von der Substanz — um so mehr Elektricität durch, je grösser sein Querschnitt und je kürzer er ist und umgekehrt.

Hat dieser Leiter eine gewisse Länge und einen bestimmten Querschnitt und bezeichnet man die Elektricitätsmenge, welche Silber in einem bestimmten Falle durchlässt, mit 100, so gestatten unter ganz denselben Verhältnissen die nachfolgenden Substanzen folgenden Mengen den Durchgang

Silber	100
Kupfer	74
Zink	30
Eisen	12
Platin	8
Neusilber	6
Quecksilber	3
Gesättigte Kupfervitriollösung	0,000005
Gesättigte Kochsalzlösung	0,00003
Gesättigte Zinkvitriollösung	0,000006
1 Vol. Schwefelsäure, 11 Vol. Wasser	0,00009
Käufliche Salpetersäure	0,00009
Brunnenwasser	0,0000003
Destillirtes Wasser	0,0000000007
Kohle	0,04
Braunstein	0,004.

Innerer Widerstand. Stromesintensität. Ohm'sches Gesetz.

33. Der gesammte Verlauf des galvanischen Stromes geschieht durch eine leitend mit einander verbundene und in sich selbst zurückkehrende Reihe von einzelnen Leitern, welche theils dem Schliessungsbogen angehören, theils Bestandtheile der stromerzeugenden Elemente oder der Batterie sind. Jeder dieser Leiter tritt dem Durchgange des Stromes mit seinem Widerstande entgegen, alle zusammen mit der Gesammtzahl oder Summe ihrer Widerstände. Wenn man die oben gegebenen Zahlen für die Widerstände betrachtet, so treten vor Allem diejenigen der Flüssigkeiten sehr in den Vordergrund, wesshalb der Widerstand, der dem Strome durch die Flüssigkeiten innerhalb der Elemente entgegen-

gebracht wird, durchaus nicht vernachlässigt werden darf. Man unterscheidet diesen Widerstand innerhalb jedes einzelnen Elementes — desshalb innerer Widerstand genannt — besonders von dem Widerstande des Schliessungsbogens: dem äusseren Widerstande. Aus dem Umstande, dass der Widerstand von Leitern proportional mit der Zunahme des Querschnittes abnimmt, ergibt sich selbstverständlich, dass unter gleichen Umständen grosse Elemente einen kleineren inneren Widerstand haben, als kleine Elemente.

Dadurch, dass einerseits die Elemente mit der Summe ihrer elektromotorischen Kräfte den galvanischen Strom durch eine in sich geschlossene Kette von Leitern hindurchtreiben, und andererseits die Leiter mit der Gesammtheit ihrer Widerstände diesem Durchflusse sich entgegensetzen, resultirt endlich, dass bei jeder Zusammenstellung von Elementen und nach dem Anlegen des Schliessungsbogens durch den ganzen Stromkreis in einer bestimmten Zeit nur

34. eine gewisse Menge von Elektricität fliesst, welche man Stromstärke, Stromdichte oder Stromintensität heisst.

Diese kann man bei bekannten elektromotorischen Kräften und Widerständen im Voraus berechnen. Mit dieser zur Entwicklung gelangenden Menge von Elektricität bringt eine Batterie im Schliessungsbogen und innerhalb der Elemente ihre Wirkungen zu Stande, z. B. magnetische, physiologische, elektrolytische Erscheinungen. Die Stromstärke ist um so grösser, je grösser die im Stromkreise vorhandene Summe an elektromotorischen Kräften und je kleiner die Summe aller Widerstände — innere und äussere zusammengenommen — ist und umgekehrt. Hieraus ergibt sich der von Ohm entdeckte Satz:

35. Die Stromstärke = A ist gleich der Summe aller elektromotorischen Kräfte = ΣV dividirt durch die Gesammtsumme aus allen Widerständen in den Elementen = $\Sigma \Omega_i$ und den Widerständen im Schliessungsbogen = $\Sigma \Omega_a$; mit Verwendung der soeben angegebenen Summationszeichen Σ ist die rechnerische Form des Ohm'schen Gesetzes:

$$A = \frac{\Sigma V}{\Sigma (\Omega_i) + \Sigma (\Omega_a)}$$

Wie man sieht, stellt sich dieses so einfache, aber ausserordentlich wichtige Gesetz als ein Bruch dar, aus welchem man ohne weitere mathematische Kenntnisse als die Bekanntschaft mit den vier Species fast Alles ausrechnen kann, was man bezüglich der

Verhältnisse von Strömen und Batterien zu den durchströmten Leitern braucht.[1]) In den Zähler eines Bruches ist die Summe aller elektromotorischen Kräfte in Volt, in den Nenner die Summe aller vorhandenen Widerstände in Ohm ausgedrückt, einzusetzen, und man erhält durch die numerische Auswerthung des Bruches die unter den gegebenen Verhältnissen entwickelte Stromstärke in einem Maasse ausgedrückt, das in der Elektrotechnik nach »Ampère« gezählt wird. Die Angabe der Resultate einer Messung in Ampères geschieht durch eine Zahl mit darauffolgendem A; so ist z. B. eine Stromstärke von 0.53 A nothwendig, um eine gewöhnliche Edison-Glühlampe zum normalen Glühen zu bringen. In der Elektrotherapie rechnet man gewöhnlich mit dem tausendsten Theile des Ampère, dem Milliampère, das mit MA bezeichnet wird. Obige Stromstärke wäre also auch bezeichnet durch 530 MA. **36.**

37. Aus der näheren Betrachtung des Ohm'schen Gesetzes, wie

---

[1]) Weil man gewöhnlich zur Erzeugung des galvanischen Stromes nicht verschiedene, sondern gleiche Elemente — z. B. in der Anzahl = n, jedes von der elektromotorischen Kraft V und dem inneren Widerstande Ω_i — zur Batterie zusammensetzt, so kann man das Ohm'sche Gesetz auch so schreiben

$$\text{Stromstärke A} = \frac{n \times V}{n \times \Omega_i + \Sigma\,\Omega_a}$$

d. h. um eine fragliche Stromstärke zu berechnen, multiplicirt man die elektromotorische Kraft der die Batterie bildenden Elemente mit deren Anzahl, dividirt dann die gefundene Zahl mit der Gesammtsumme, die sich bildet aus 1) dem Producte der Anzahl der Elemente in dem inneren Widerstand des einzelnen und 2) dem Leitungswiderstand des Schliessungsbogens.

Um die Wichtigkeit und Anwendbarkeit des Ohm'schen Gesetzes zu zeigen, folgen hier die Lösungen einiger häufig vorkommenden Fragen.

1. Welche elektromotorische Kraft V muss ein einzelnes Element einer Batterie besitzen, damit eine Anzahl von n Elementen, von welchen jedes den inneren Widerstand Ω_i hat, in einem Schliessungsdrahte vom Widerstande Ω_a eine Stromstärke A erzeugt? Für diesen Fall ist die rechnerische Formel

$$V = \frac{n \times \Omega_i + \Sigma\,\Omega_a}{n} \times A.$$

2. Welchen Widerstand Ω_a darf ein Schliessungsdraht haben, damit eine Batterie von n Elementen, von welchen jedes die elektromotorische Kraft V und den inneren Widerstand Ω_i hat, eine bestimmte Stromstärke A hervorbringt; dann ist

$$\Omega_a = \frac{n \times V}{A} - n \times \Omega_i.$$

solche in untenstehender Anmerkung gegeben ist, entwickeln sich folgende Schlüsse:

1. Ist ein grosser äusserer Widerstand in der Stromleitung vorhanden, z. B. ein Muskel in den Schliessungsbogen eingeschaltet, so erhält man eine Verstärkung des Stromes nur durch Vermehrung der Elemente; ob diese gross oder klein sind, ist fast gleichgiltig. Der Grund hievon ist, dass sich hier das Ohm'sche Gesetz als ein Bruch mit grossem Nenner darstellt, dessen Werth sich nur durch die Grösse des Zählers, in welchen die elektromotorischen Kräfte entscheidend eintreten, ändern lässt.

---

3. Welchen inneren Widerstand Ω_i darf das einzelne Element einer Batterie im höchsten Falle erreichen, wenn diese Batterie in einem Schliessungsdrahte vom Widerstande Ω_a eine Stromstärke A besitzen soll und dabei jedes einzelne Element, von welchen man eine Anzahl n zur Verfügung hat. Die elektromotorische Kraft E hat

$$\Omega_i = \frac{E}{A} - \frac{\Omega_a}{n}$$

4. Welche Anzahl n von Elementen muss man zur Batterie zusammensetzen, damit durch Elemente von der elektromotorischen Kraft E und dem inneren Widerstande Ω_i die Stromstärke A erreicht werde. Der Widerstand im Schliessungsbogen sei $\Sigma\,\Omega_a$.

Diese Frage ist insoferne von Wichtigkeit, als man sich dieselbe beim Einkauf der zu verwendenden Batterien vorlegen muss. Man weiss aus Erfahrung, welche Stromstärken man erreichen will oder soll; damit ist die Anzahl der zu beschaffenden Elemente gegeben, da der Widerstand des durchströmten Körpers höchstens 6000 Ω erreichen wird.

$$n = \frac{A \times \Sigma\,\Omega_a}{E - A \times \Omega_i}.$$

In den letzten drei Gleichungen kommen Differenzen vor. Ergibt sich nach dem Einsetzen der bezüglichen Zahlenwerthe statt der Zahlenzeichen: n, A, Ω_i, $\Sigma\Omega_a$, dass der Minuend kleiner ist, als der Subtrahend und dass dadurch eine negative Zahl als Resultat herauskommen würde, so sind die eingesetzten Werthe resp. die Elemente und der Schliessungsbogen so beschaffen, dass sich das, wonach gefragt ist, unter den angenommenen Umständen überhaupt nicht erreichen lässt. Mit anderen Worten: es lässt sich z. B. — Gleichung 4 betreffend — mit gar keiner Anzahl der angenommenen Elemente erreichen, dass die verlangte Stromstärke in einem Schliessungsbogen von gegebenem Widerstande den erforderlichen Werth annehme — man muss dann andere Elemente mit geringerem inneren Widerstande oder höherer elektromotorischer Kraft nehmen.

Kommt in Gleichung 3 eine negative Zahl heraus, so muss man den Widerstand des Schliessungsbogens verkleinern oder die Anzahl der Elemente vermehren, oder ferner kräftigere Elemente nehmen; ereignet sich das

2. Ist ein kleiner Widerstand im Schliessungsbogen, z. B. bei Inductionsapparaten oder bei galvanocaustischen Operationen, so erhält man die erforderlichen starken Ströme nur dann, wenn man grosse Elemente mit kleinem inneren Widerstande in erforderlicher Zahl verwendet.

Kupfervoltameter, Rheostate. Das Ampère.

38. Aus den Sätzen 19—23 haben wir ersehen, dass der galvanische Strom im Stande ist, chemische Vorgänge hervorzubringen.

---

nämliche in Gleichung 2, so ist man gezwungen, entweder Elemente zu nehmen, die eine höhere elektromotorische Kraft oder einen kleineren inneren Widerstand haben. Die Anzahl der Elemente kommt in diesem Falle nur insoferne in Frage, als man mit jeder beliebigen Anzahl von Elementen das erreichen kann, was man verlangt; jedoch kann der äussere Widerstand für Erreichung einer bestimmten Annahme von Stromintensität um so grösser sein, je mehr man Elemente verwenden kann.

In Bezug auf die Gleichung 1 ist zu bemerken, dass für die fragliche elektromotorische Kraft kein grösserer Werth herauskommen darf, als der, den Elemente überhaupt noch besitzen können. Sollte dies nicht der Fall sein, so ist entweder eine kleinere Stromstärke, ein kleinerer innerer oder äusserer Widerstand zu wählen, oder man kann auch, wenn der äussere Widerstand einen beträchtlichen Werth hat, mehr Elemente nehmen; in dem Falle, als derselbe klein ist, nützt eine grössere Zahl von Elementen nicht wesentlich; ist derselbe sehr klein, dann nützt diese gar nichts.

Es versteht sich von selbst, dass man in den soeben betrachteten Fällen dann, wenn zwei oder mehrere von den ursprünglichen Annahmen über die einzelnen Werthe veränderlich sein können, durch günstige Vornahme in der Wahl der bezüglichen Veränderungen oft schnell zum Ziele kommt.

Nehmen wir als Beispiele an: Welche Stromstärke durchfliesst den Körper von Hand zu Hand (Widerstand = 3000 Ω) unter Verwendung von 20 kleinen Leclanché-Elementen einer transportablen Batterie (elektromotorische Kraft des Elementes = 1,2 V, innerer Widerstand = 10 Ω) und wie viele grosse Daniell'sche Elemente (E = 1 V Ω_i = 0,1 Ω) braucht man, um denselben Effect zu erzielen.

Die Antwort hierauf lautet:

Unter den fraglichen Umständen wird die Intensität des Stromes = 7 Milliampères und man hat 21 Daniell's nöthig.

Wie man aus dem Resultate dieser Berechnungen sieht, kommt es bei den elektrotherapeutischen Apparaten für constanten Strom in Rücksicht auf ihre Wirkungsfähigkeit nur auf die Grösse der elektromotorischen Kraft des Elementes an; ob dasselbe in grossen oder kleinen Dimensionen gearbeitet

Leitet man Strom von einer Platinplatte zu einer zweiten hinüber, während beide in Kupfervitriollösung stehen, so wissen wir bereits, dass sich die eine der Platten mit Kupfer überzieht. Die abgeschiedene Kupfermenge hält gleichen Schritt mit der Stromstärke und mit der Zeitdauer des Stromes, d. h. man erhält um so mehr Kupfer, je länger man den Strom hat wirken lassen und je stärker der Strom war. Um diese Erscheinung messend zu beobachten, bedient man sich am besten speciell dafür eingerichteter Instrumente: des Kupfervoltameters und einer feinen Waage, welche noch Zehntel-Milligramm zu wägen ermöglicht. Um die Zusammensetzung der Metalllösung gleich zu

---

ist, d. h. ob dasselbe einen kleinen oder grossen inneren Widerstand habe, ist hier zunächst ohne Belang. Dass grössere Elemente jedoch dauernder in ihrer Verwendbarkeit sind, ergibt sich aus ihrem grösseren Stromvorrath (25).

Hat man nur Elemente einer gewissen Grösse, aber in genügender Anzahl zur Verfügung und es ereignet sich in einem bestimmten Falle, dass sie zu grossen inneren Widerstand besitzen, dann kann man sich sehr leicht helfen. Man macht sich nemlich aus mehreren Elementen durch Verbindung neben einander ein einziges Element. Es geschieht dies dadurch, dass man gruppenweise die gleichen Metalle von Elementen unter sich verbindet, dann die beiden Verbindungsdrähte jeder Gruppe als je ein Metall eines einzigen Elementes betrachtet und diese nach der Regel der Zusammenstellung von Batterien leitend unter sich verbindet. Eine Batterieverbindung von 6 Elementen, bei welcher jedoch jedes Element aus 3 einzelnen nebeneinander verbundenen Elementen besteht, zeigt sich von oben gesehen, wie folgt:

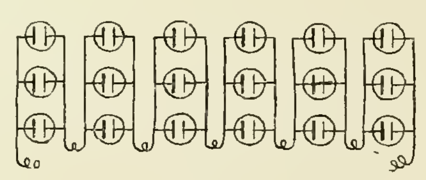


Fig. 5.

Die Wirkung der Verbindung der Elemente neben einander ist die, dass die ganze Zahl, z. B. n — in der Figur drei — der so zu einer Gruppe verbundenen Elemente zwar nur mit einer einzigen elektromotorischen Kraft in den Stromkreis eintritt, dass dagegen die Oberflächen der elektromotorischen Metalle der Gruppe sich addiren und dadurch der innere Widerstand des einzigen Elementes, als welches die Gruppe jetzt auftritt, nur mehr $\frac{1}{n}$ — in dem Beispiele $^1/_3$ — des zur Gruppenbildung verwendeten Elementes beträgt.

erhalten, nimmt man an Stelle der positiven Elektrode eine Kupferplatte; so viel sich dann an der negativen Elektrode abscheidet, löst sich an der positiven auf.

39. Die gewöhnlich benützte Form des Kupfervoltameters ist in Fig. 6 gegeben. *a* ist ein Kupferblech, an *k* ist das Platinblech angeklemmt. Beide sind im Inneren des Glases *g* untergebracht, das mit einer Flüssigkeit beschickt wird, die aus drei Theilen gesättigter eisenfreier Kupfervitriollösung und zwei Theilen destillirten Wassers hergestellt wird. Eine Klemmschraube unten an der Stange *S* führt vermittelst eines fest eingeklemmten Drahtes den Strom zu, eine zweite (unten zwischen dem Kupferbleche *a* und dem Fussbrette) ab.

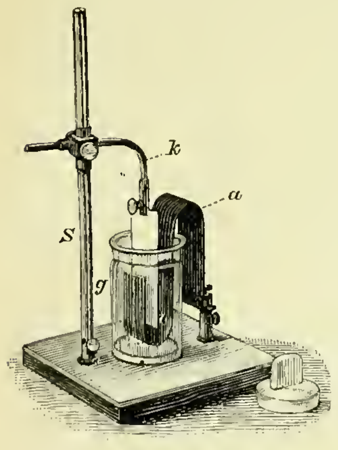


Fig. 6.

Wegen der U-förmigen Biegung der Kupferplatte um die Platinplatte herum scheidet sich beiderseits derselben Kupfer ab. Vor dem Gebrauche wird das Platinblech in verdünnter Salpetersäure abgekocht, mit destillirtem Wasser mehrmals abgespült und durch Einsetzen in das Voltameter und Einwirkenlassen des Stromes ein gleichmässiger Kupferniederschlag hervorgebracht.

40. Schon bei dieser Operation wird in den Stromkreis das zu controllirende oder zu aichende Galvanometer eingeschaltet und so viel Widerstand, dass der Strom jene Intensität erhält, welche man bei der nachfolgenden Messung benützen will.

Nach einiger Zeit wird der Strom geöffnet und das Platinblech wieder herausgenommen, mit destillirtem Wasser aus einer Spritzflasche sorgfältig — bis alle Kupfervitriollösung sicher fort ist — abgespült, zwischen Fliesspapier getrocknet und ohne directe Berührung mit der Flamme über einer Weingeistlampe oder einem nicht leuchtenden Gasbrenner getrocknet und sorgfältig gewägt.

Nun stellt man das Kupfervoltameter wieder zusammen, taucht die verkupferte Platinplatte bis an den Rand der Verkupferung ein und schliesst den zu messenden Strom, welcher Augenblick mit einer Secundenuhr aufgezeichnet wird. Die weitere Aufgabe ist jetzt, den Strom ganz constant zu erhalten, was man unter sorg-

fältiger Beobachtung des Galvanometers durch allmählige Aus- und Einschaltung von Widerständen erreicht. Grössere Stromschwankungen dürfen während einer Messung, wenn sie brauchbar sein soll, selbstverständlich nicht vorgekommen sein.

Glaubt man, dass durch die Elektrolyse genügend wägbare Kupfermengen abgeschieden sind, so öffnet man den Strom in einem genau zu beobachtenden Augenblicke. Die Zeitdifferenz gibt die Dauer der Elektrolyse (Zeit in Secunden anzugeben).

41. Die Stromstärke von 1 Ampère scheidet in der Secunde 0,3281 Milligramm Kupfer ab; zur Berechnung der Stromstärke in Ampères dividirt man also die Kupfermenge mit der Anzahl Secunden, welche die Elektrolyse gedauert hat, und die so gefundene Zahl ausserdem noch mit 0,3281.

42. Es ist nothwendig, dass man diese Operation unter ganz gleichen Verhältnissen mehrfach wiederholt, und sich aus der Uebereinstimmung der Resultate über deren Zuverlässigkeit Rechenschaft gibt. Die gefundenen Zahlenwerthe sind genügend für unsere Zwecke, wenn sie nicht über ein Procent vom mittleren Werthe aller schwanken. Der mittlere (wahrscheinliche) Werth der Messungen wird gefunden, wenn man alle Resultate für gleiche Stromstärke addirt und diese Summe mit der Anzahl der Versuche dividirt. Hätten wir z. B. als Resultate die Zahlen a, b, c, d gefunden, so ist deren mittlerer Werth $m = \frac{a + b + c + d}{4}$

Der Grad der Uebereinstimmung in Procenten mit dem mittleren Werth berechnet sich für einen beliebigen Werth, z. B. a aus den Formeln

$$100 \cdot \frac{m - a}{m} \quad \text{oder} \quad 100 \cdot \frac{a - m}{m}$$

je nachdem m grösser oder kleiner als a ist.

Es muss hier noch Nachstehendes bemerkt werden:

Das Platinblech ist so gross zu wählen, respective der Strom so zu verkleinern, dass auf den Quadratcentimeter der Platinoberfläche höchstens 25 bis 30 Milliampéres treffen, sonst wird der Kupferniederschlag pulverig, bei sehr grossen Stromdichten sogar nur ein schwarzer Schlamm. Die brauchbare Verkupferung haftet sehr fest und gleichmässig, und sieht prachtvoll hellroth und mattglänzend aus.

Man kann oft hintereinander elektrolysiren, ohne das Kupfer vom Platin wegzuätzen. Dies geschieht mit starker Salpetersäure.

Vor erneutem Gebrauche muss aber, wie oben angegeben, zuerst gut verkupfert werden; denn es ergeben sich ohne diese Vorsichtsmaassregel nach meiner Erfahrung manchmal falsche (zu kleine) Zahlenwerthe. Das Platinblech soll nie mit den Fingern, sondern nur mit einer Pincette gefasst werden, und auch mit dieser nur an Stellen, wo kein Kupfer sitzt.

Zur Erzeugung des bei einer elektrolytischen Messung nothwendigen Stromes kann man zwar beliebige grossflächige constante Elemente nehmen; am besten aber eignen sich zwei bis drei grössere Daniell'sche Elemente, die man vor Beginn der Versuche einige Zeit unter Einschaltung von etwa 30 Ohm Widerstand geschlossen stehen lässt; dann hat man mit der Constant-Erhaltung des Stromes fast keine Arbeit.

43. Vorhin wurde erwähnt, dass man in den Stromkreis zur Erreichung der gewünschten Stromintensitäten und zur Erhaltung des Stromes auf gleichem Werthe Rheostaten einschalten solle. In Fig. 7 ist ein solcher Rheostat — einfacher Stöpselrheostat — abgebildet.

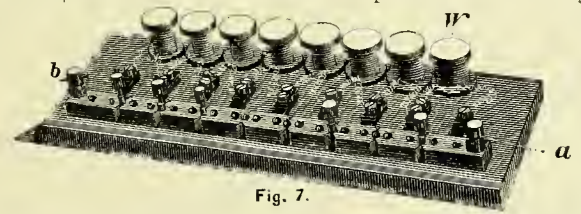


Fig. 7.

Er besteht aus einem Fussbrette, auf welchem eine Reihe gleicher Messingklötze aufgeschraubt sind. Diese Klötze reichen von der Klemmschraube *a*, wo man den Strom durch einen eingeklemmten Draht einführen kann, bis zur Klemmschraube *b*, wo er durch einen zweiten Draht abgeleitet wird. Sind in die Zwischenräume von einem zum nächsten Metallklotze Messingstöpsel eingesteckt (fest einzureiben!), so geht der Strom direct ohne Widerstand durch; werden aber, wie im Beispiele der Figur, der zweite, vierte und fünfte Stöpsel gezogen, so muss hier der Strom durch die zweite, vierte und fünfte Rolle bis *W*. Auf diese Rollen sind übersponnene Drähte von abgemessenem Widerstande aufgewickelt und zwar der Reihe nach von *a* an 1, 2, 3, 4, 10, 20, 30, 40 Ohm. Diese Widerstandsdrähte endigen je vor und hinter dem zugehörigen Stöpselloche in den Metallklötzen. So kann man auf selbstverständliche Weise 1 bis 110 Ω in den Stromkreis einschalten. In unserem Beispiele beträgt der Widerstand im Rheostaten 16 Ω.

44. Um den Widerstand nicht sprungweise verändern zu müssen, schaltet man gewöhnlich ausser diesem noch einen sogenannten Schlittenrheostaten Fig. 8 ein. Hier wird der Strom bei *a* zu-, in *b* abgeleitet. Von *a* führt sich der Strom durch den horizontal gespannten Draht *f* zur Metallschneide *d*, von hier durch *g* nach *b* zurück. Der Stöpsel *S* ist, wenn man nicht eine gänzliche Widerstandsausschaltung beabsichtigt, herauszunehmen. Durch Verschiebung des Schlittens *Z* können von den Widerstandsdrähten (je ein Meter lang und ein Ohm im Widerstande) nach Belieben kürzere und längere Strecken in den Stromkreis hereingenommen werden. Der Stand des Schlittens Z ist an einem Maassstabe ablesbar, der nach Decimalen von Ohm getheilt ist.

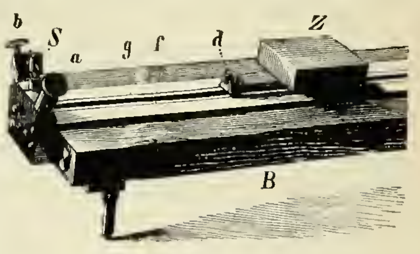


Fig. 8.

45. Das Stromlaufschema zu einer exacten voltametrischen Arbeit ist in Fig. 9 gegeben. Hier bedeuten: *E* die stromerzeugenden Elemente, *S* einen Stromschlüssel, *G* das Galvanometer, *Z* den Schlittenrheostaten, *R* den Stöpselrheostaten, endlich *V* das Voltameter; die übrigen Linien sind Kupferdrähte, welche — von einander isolirt — die Apparate der Reihe nach unter sich leitend verbinden. Das Galvanometer steht so weit von den übrigen Apparaten (und allen etwaigen Stahl- und Eisenkörpern) entfernt, dass diese keinen störenden Einfluss auf die Galvanometernadel ausüben und deren Stand nur durch die Galvanometerwindungen und den Erdmagnetismus beeinflusst werden kann; aus diesem Grunde sind auch die Zuleitungsdrähte zum Galvanometer parallel und ganz nahe zusammenzulegen.

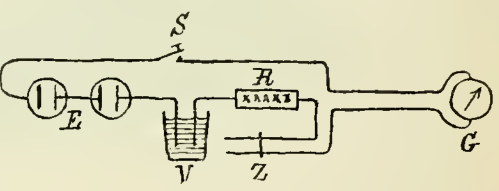


Fig. 9.

46. In Fig. 10 ist ein Stromschlüssel abgebildet: Zuleitung in *a*, Ableitung in *b*; kurzdauernde Stromverbindung durch Niederdrücken der Feder *f*, langdauernde durch Niederschrauben von *c* bis zur Berührung des untergreifenden Metallklotzes.

Fig 10.

Sehr gute Resultate ergibt auch das Silbervoltameter, in welchem dieses Metall die Stelle des Kupfers im Kupfervoltameter vertritt; das Experimentalverfahren ist dasselbe. Man nimmt als die eine Metallplatte, an der die Auflösung stattfindet, ein Silberblech- oder einen Silberdraht, als Lösung eine zehnprocentige Höllensteinlösung. Die Stromstärke von einem Ampère scheidet in der Secunde 1,1183 Milligramm Silber ab. Genaue Vorschriften für das Arbeiten mit dem Silbervoltameter findet man in Kittler's Handbuch der Elektrotechnik I, 169. Auch beim Silbervoltameter empfehle ich, das zur Messung dienende Silber erst nach vorgängiger Versilberung der Elektrode abzuscheiden. **47.**

Stromverzweigung.

48. Leitet man Strom, der aus einem Elemente oder einer Batterie *E* Fig. 11 kommt, durch einen Draht bis zu dem Puncte *a*, gibt demselben von hier ab zwei Leitungen *acb* und *adb* bis zu dem Puncte *b* und leitet ihn dann wieder zum Elemente *E* zurück, so wird natürlich Elektricität ebensowohl über *c*, als auch über *d* fliessen. Es ist kein Grund vorhanden, warum nicht der Strom sich in zwei gleiche Theile spalten sollte, wenn *abc* und *abd* dem Strome ganz gleichen Widerstand bieten. Hat aber *acb* die Hälfte, ein Drittel ... vom Widerstande *abd*, so geht zweimal, dreimal ... so viel Strom durch *abc*, als durch *adb*, d. h. zwei Drittel, drei Viertel ... des Gesammtstromes gehen durch *acb* — ein Drittel, ein Viertel ... durch *adb*. Allgemein: Hat der Draht *acb* einen beliebigen Widerstand, *adb* aber z. B. n mal mehr, dann geht n mal so viel Strom durch *acb*, als durch *adb*. Bezeichnet man die Stromstärke in *adb* mit *a*, so ist also folgerichtig in *acb* die Stromstärke n × a. Nennen wir die gemeinschaftliche Stromstärke in *acb* und *adb*, also natürlich auch jene von *b* durch *E* nach Punct *a* die Stromstärke A, so ist

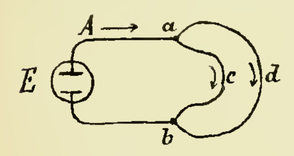


Fig. 11

$$A = n\,a + a \text{ oder } = a\,(n + 1)$$

Der Strom in *adb* ist dann der nte Theil von A, nemlich $\frac{A}{n}$; jener in *acb* der Rest: A weniger $\frac{A}{n}$, also $\frac{A\,(n-1)}{n}$.

Hat der Draht *adb* einen beliebigen Widerstand, der Draht *acb* aber

49. nur $\frac{1}{9}, \frac{1}{99}, \frac{1}{999}$ . . davon, dann gehen 9, 99, 999 . . Theile des Stromes durch *acb*, einer durch *adb*. Der Gesammtstrom beträgt in diesen Fällen 10, 100, 1000 . . . Theile, von welchen also auch nur $\frac{1}{10}, \frac{1}{100}, \frac{1}{1000}$ durch *adb* fliesst.

Solche Stromverzweigungen werden häufig benützt, um den Empfindlichkeitsgrad eines Galvanometers nach Bedürfniss zu verändern. Haben wir z. B. in der Leitung *adb* ein Galvanometer mit dem Widerstande W und wollen mit demselben einen Strom messen, der doppelt so stark ist, als wir mit diesem Galvanometer zu messen vermögen, so legen wir aushilfsweise einen Stromzweig *acb* an, der den gleichen Widerstand W wie das Galvanometer besitzt. Nun geht nur mehr die (für uns aber messbare) Hälfte des Stromes durch's Galvanometer; wir müssen aber jetzt selbstverständlich die Werthangabe des Instrumentes mit Zwei multipliziren, um die Stromstärke in *bEa* zu geben.

Gewöhnlich gibt man diesen Zweigen — man nennt sie häufig auch Nebenschlüsse (Shunts) — die oben erwähnten $\frac{1}{9}, \frac{1}{99}, \frac{1}{999}$ . . . vom Widerstande der Galvanometerwindungen und bringt diese im Innern des Galvanometers unter, wobei man durch Contactschrauben oder Stöpsel ihre Aus- und Einschaltung leichter bewerkstelligen kann; dann muss man die abgelesene Stromstärke mit 1, 10, 100, 1000 . . . multipliciren, resp. nur das Decimalzeichen um keine, 1, 2, 3 Stellen zurücksetzen, um den Strom in *bEa* zu haben, je nachdem man keinen oder einen dieser Nebenschlüsse während der Messung verwendet hat.

50. Es ist hier der Ort, ganz besonders darauf aufmerksam zu machen, dass durch das Anbringen von solchen Zweigwiderständen sich der Widerstand im Gesammtstromkreise erniedrigt und daher umgekehrt die Stromstärke grösser wird. War z. B. der Widerstand eines Galvanometers, das man bei *d* in Fig. 11 angebracht hat, $W = 100$ Ohm und man bringt einen Zweig *acb* von $\frac{W}{9} = 11{,}1$ Ohm an, um mit einem Zehntel der früheren Empfindlichkeit des Galvanometers zu arbeiten, dann ist der Widerstand zwischen den Puncten *a* und *b* Fig. 11 jetzt nicht mehr 100 Ohm,

sondern, wie sich leicht zeigen lässt, nur mehr 10 Ohm (also ein Zehntel von vorhin); durch den Zweig $\frac{W}{99}$ nur mehr 1 Ohm $\left(\frac{W}{100}\right)$..

Man darf nur dann, wenn sehr grosse Widerstände ausser dem Galvanometer (im Stromkreise bEa) sind, erwarten, dass beim Anlegen der Zweige $\frac{1}{9}, \frac{1}{99}$.. die Galvanometernadel $\frac{1}{10}, \frac{1}{100}$.. des ursprünglichen Ausschlages zeige; dies wird vom Galvanometer jedoch manchmal fälschlicher Weise erwartet und eine Controle über die Genauigkeit der Theilung damit auszuüben versucht[1]). Wollte man dies, so müsste man dafür sorgen, dass trotz des Anlegens der Zweige der Strom constant bliebe; dies kann man durch sog. Ergänzungswiderstände besorgen, durch welche dem unver-

[1]) Ich will hier zur näheren Erläuterung des Umstandes, dass man durch die Zweigschaltungen am Galvanometer immer auch eine Veränderung der Stromstärke zu erwarten hat, ein Beispiel rechnen, das der Praxis entnommen ist:

Man habe zehn Elemente im Stromkreise, von denen jedes die elektromotorische Kraft 1 Volt und den Widerstand von ein halb Ohm hat; schalten wir in dem Stromkreis mit Hilfe grossflächiger Elektroden den Thorax (300 Ω) und ausserdem ein Galvanometer von 100 Ω mit den Empfindlichkeitsgraden 1, $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{100}$ ein, so haben wir ohne Zweige die Stromstärke $\frac{10\ V}{5\ \Omega + 100\ \Omega + 300\ \Omega} = 0{,}0247$ A. Nehmen wir jetzt $\frac{1}{10}$ der Empfindlichkeit, wo also das Galvanometer 10 Ω Widerstand in den Stromkreis liefert, dann rechnet sich die Stromstärke $\frac{10\ V}{5\ \Omega + 10\ \Omega + 300\ \Omega} = 0{,}0305$ A.

Endlich bei $\frac{1}{100}$ der Empfindlichkeit: $\frac{10\ V}{5\ \Omega + 1\ \Omega + 300\ \Omega} = 0{,}0327$ A.

Man ersieht hieraus evident die Stromstärke und die weitere Thatsache, dass man am Galvanometer folgende Ablesungen in Milliampères an der Scala erhalten wird

24,7 — 3,05 — 0,327 MA

und nicht etwa

24,7 — 2,47 — 0,247 MA.

Schaltet man zu einem sehr grossen constanten Elemente, das also einen sehr kleinen inneren Widerstand hat, nur das Galvanometer vermittelst dicker Kupferdrähte in den Stromkreis, so wird man bemerken, dass sich die Stellung der Galvanometernadel fast gar nicht ändert, ob und welche Zweige man einschaltet.

zweigten Stromkreis so viel an Widerstand (in unserem Falle 90, 99 . . . Ohm) wieder gegeben wird, als durch die Schaltungsweise mit Stromverzweigung an Widerstand verloren ging. Dann hätte man allerdings eine Controle für den richtigen Gang eines Galvanometers; allein für unsere Zwecke sind im Allgemeinen solche Ergänzungswiderstände unnütz, da es ausser diesen noch bessere Mittel zur Controle gibt. — In Fig. 12 ist übrigens das Stromlaufschema für die gleichzeitige Benützung eines Ergänzungswiderstandes E und eines Zweigwiderstandes Z zu einem Galvanometer G mit 100 Ohm Widerstand gegeben, wobei diejenigen Werthe der Widerstände eingezeichnet sind, welche die Empfindlichkeit und den Anschlag des Galvanometers auf ein Zehntel herabsetzen.

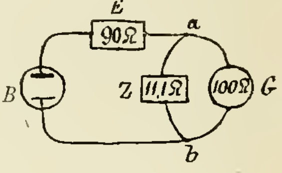


Fig. 12.

Die Wheatstone'sche Brücke. Widerstandsbestimmung mit derselben.

51. Das genaueste und wohl auch am häufigsten verwendete Mittel, Widerstände zu messen, beruht auf einer eigenthümlichen Verbindung eines zu messenden Widerstandes mit drei bekannten Widerständen, einem Galvanoskope und einer Stromquelle. Von den drei bekannten Widerständen macht man am besten einen derselben ähnlich variirbar wie einen Gewichtssatz: man nimmt dazu einen Rheostaten.

Die Art und Weise dieser Zusammenstellung, Wheatstone'sche Brücke genannt, beruht auf folgender einfachen Betrachtung:

Leitet man aus einer Stromquelle E Fig. 13 Strom nach einem Verzweigungspunkte a, von hier aus durch zwei Drähte zu b und zur Batterie zurück, so wissen wir bereits, dass der Strom sich in die Wege acb und adb theilt.

Legen wir so, wie die Fig. 14 zeigt, einen weiteren Draht von c (nahe bei a) nach d (nahe bei b), so wird auch Strom durch cd fliessen und zwar, wie man ohne weiteren Beweis sieht, in der Richtung von c nach d.

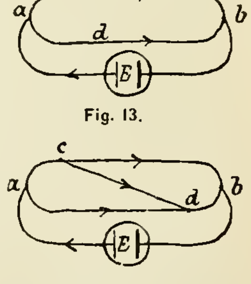


Fig. 13.

Fig. 14.

Legen wir aber den Draht cd, den man gewöhnlich Brückendraht nennt, so wie in Fig. 15, so erkennt man sofort, dass jetzt

der Strom von *d* nach *c* fliessen wird, also die umgekehrte Stromrichtung wie vorhin stattfindet. Dass Strom in *cd* verläuft und in welcher Richtung, kann man durch ein Galvanoskop erkennen, welches man zwischen *c* und *d* einschaltet. Der Draht *cd* verhält sich gerade so, als ob in dem einen Falle in *c*, im anderen Falle in *d* eine Stromquelle sich befände.

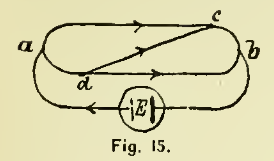


Fig. 15.

Dieser Versuch kann auch so modificirt werden, dass man wie in Fig. 16 das eine Ende des Drahtes in *c* festhält und mit dem anderen Ende entlang des zweiten Drahtes succesive von *d* nach *e*, *f*, *g*, *h*, *i* . . . kommt. Dann zeigt das Galvanometer im Brückendrahte zuerst die auf *cd* eingezeichnete Stromesrichtung; der Strom wird, je näher wir einem bestimmten Puncte (er sei *f*) kommen, immer schwächer, verschwindet hier, schlägt sofort in die andere Richtung um und wird bis zu *b* immer stärker. Man mag den Ort *c* auf dem Drahte *acb* annehmen, wo man will: man wird immer einen ganz bestimmten Punkt *f* dazu finden können, wo im Brückendraht der Strom ganz verschwindet und also die stromabliefernden Kräfte der Punkte *c* und *f* genau im Gleichgewichte zu einander sind. Aendert sich der Ort *c*, so ändert sich gesetzmässig dazu auch der Ort für *f*.

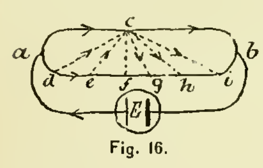


Fig. 16.

Dieses Gleichgewicht findet nemlich dann statt, wenn sich die Widerstände von *a* bis *c* und von *c* bis *b* zu einander verhalten wie die Widerstände von *a* bis *f* und *f* bis *b*. Hat z. B. der Draht *ac* den Widerstand 50 Ohm und *cb* 150 Ω (also der ganze Draht *acb* 200 Ω) so wird, wenn *afb* 80 Ω hätte, nur dann kein Strom im Brückendraht bemerkbar sein, wenn durch den Punkt *f* der Draht *afb* so getheilt würde, dass auf die Strecke *af* 20 Ω, auf *fb* 60 Ω entfallen. . Dann sind die Widerstände beider Drähte im gleichen Verhältniss 1 : 3 getheilt.

52. In der Wheatstone'schen Brücke sind nun von den Drähten *ac*, *cb*, *af*, *fb*, welche uns nur zur Erklärung des Stromlaufschemas dienten, meistens drei durch Rheostate *ABC* Fig. 17 ersetzt; zwischen *a* und *c* sind zwei Klemmschrauben *xy* angebracht, vermittelst welcher man den zu messenden Widerstand in die Brücke einschalten kann; in *a* und *b* sind Klemmschrauben, welche den Strom von der

Batterie E her zuführten; ebensolche sind in den Punkten e und f für die Galvanometerdrähte; endlich bringt man noch in S einen Stromschlüssel an, um die Brücke nach Bedürfniss mit Strom versehen zu können und einen ebensolchen in t zur Schonung des Galvanometers vor zu starken langdauernden Strömen und um durch Oeffnen und Schliessen desselben bei durchströmter Brücke noch ganz schwache Ströme bemerken zu können. Gewöhnlich sind die beiden Schlüssel s und t in einen Mechanismus vereinigt, so dass sich durch einen Druck, der auf einen Knopf ausgeübt wird zuerst s, bei stärkerem Druck erst t schliesst; die Oeffnung beim Aufhören des Druckes erfolgt zuerst in t, dann in s.

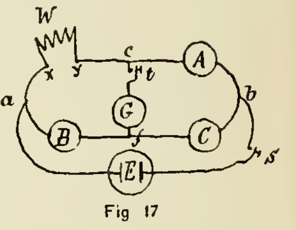


Fig 17

Lassen wir durch die Buchstaben A, B, C, W Fig. 17 die Werthangabe der vier Widerstände in Ohm bezeichnet sein, so ist kein Strom in G, wenn $W : B = A : C$. Ist W unbekannt und Gleichgewicht durch Veränderung in A erreicht, dann ist

$$W = \frac{B}{C} \cdot A.$$

53. In einer für unsere Zwecke mechanisch vollkommen ausgerüsteten Wheatstone'schen Brücke ist an Stelle von A am besten ein Stöpsel-Rheostat mit folgenden Stöpselwerthen: 10, 10, 20, 30, 40, 100, 200, 300, 400, 1000, 2000, 3000, 4000 Ω (Vergleichswiderstand); an Stelle von B und C sind zwei Rheostate, die nur je drei Stöpsel 10, 100, 1000 Ω enthalten. Diese beiden Rheostate nennt man Uebersetzungsrheostate. Durch letztere kann man dem Verhältniss $\frac{B}{C}$ folgende Werthe geben: $\frac{10}{10}$, $\frac{10}{100}$, $\frac{10}{1000}$, $\frac{100}{10}$, $\frac{100}{100}$, $\frac{100}{1000}$, $\frac{1000}{10}$, $\frac{1000}{100}$, $\frac{1000}{1000}$. In Fig. 18 ist eine solche Brücke dargestellt.

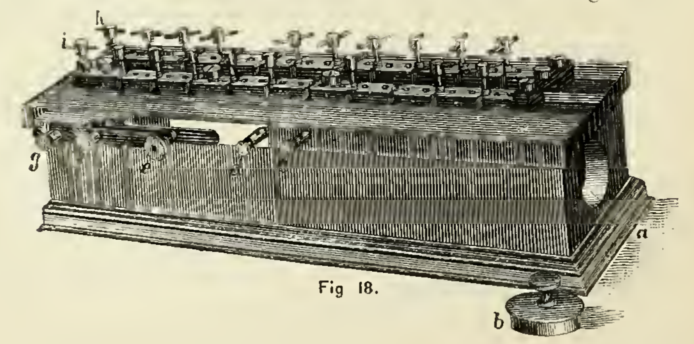


Fig 18.

Will man einen Widerstand mit Hilfe dieser Brücke bestimmen, so schaltet man den zu messenden Widerstand zwischen die dafür bestimmten Klemmschrauben *i* und *h* ein; ebenso legt man Elemente und Galvanoskop vermittelst guter Leitungsdrähte an; die erforderlichen Klemmen, sowie Stromschlüssel sind im Mechanismus der Brücke bei *g s e d c*. Hierauf zieht man je einen Stöpsel in den Uebersetzungsrheostaten, welche durch die zunächst bei *i* gelegenen sechs Stöpsel gegeben sind; nun sucht man durch Veränderung in den übrigen Stöpseln Gleichgewicht in der Brücke herzustellen, was man nach dem Niederdrücken des Doppelschlüssels *e* durch Ruhigbleiben der Galvanometernadel beurtheilt (z. B. Ausschlag rechts zu viel, Ausschlag links zu wenig im Vergleichswiderstand). Kann man kein Gleichgewicht erhalten, dann muss man ein anderes Verhältniss in den Uebersetzungsrheostaten versuchen.

Ist endlich Gleichgewicht vorhanden, was mit einiger Uebung und nach dem Angewöhnen einer planmässigen Methode in der Reihenfolge des Ziehens der Stöpsel sehr rasch erreicht werden kann, dann summirt man die benützten Stöpselwerthe im Vergleichsrheostaten und multiplicirt mit dem Verhältniss $\frac{B}{C}$ der Uebersetzungsrheostaten, welcher in unserer Brücke folgende Werthe haben kann: 0,01 — 0,1 — 1 — 10 — 100, d. h. man setzt die Decimalzeichen an die richtige Stelle in der Zahl A.

Nachdem der Widerstand von A einen Umfang von 10 bis 11110 Ω hat, kann man mit der geschilderten Brücke Widerstände messen, welche zwischen 0,1 und 1111000 Ω liegen. Dieser Messumfang ist für unsere Zwecke vollkommen ausreichend. Ausreichend ist auch, dass man jeden Widerstand direct auf die ersten drei Ziffernstellen genau bestimmen kann; die vierte Stelle kann noch durch die Beobachtung der Ausschläge des Galvanometers **54.** nahe bei der Gleichgewichtslage bestimmt werden. Beobachtet man z. B. in einem bestimmten Falle, dass der Werth 1430 zu gross, 1429 zu klein ist, so macht das Galvanometer im ersten Falle einen kleinen, aber messbaren Ausschlag *m* nach rechts, im zweiten einen anderen *n* nach links; die Ausrechnung des Werthes $\frac{n}{m+n}$ gibt die Ziffer der vierten Stelle. Sind die Ausschläge *m* und *n* am Galvanometer gross, so ergibt sich hieraus auch noch die fünfte Stelle.

Spannungsdifferenzen im Stromkreise. Verallgemeinerung des Ohm'schen Gesetzes. Anwendungen hievon.

55. Aus früheren Zeilen erinnern wir uns, dass ein elektrischer Strom in einem Leitungsdrahte auftritt, wenn man diesen Draht mit einem elektrisch geladenen Körper so verbindet, dass durch diesen Draht die Elektricität zu einem andern Körper überfliessen kann.

Wir haben so das Auftreten des galvanischen Stromes aus einem Elemente oder einer Batterie hervor durch den Schliessungsdraht gezeigt: ein Strom kommt immer dann zu Stande, wenn zwei Körper, welche ungleiche elektrische Zustände (Spannungen) besitzen, leitend mit einander verbunden werden, und zwar dauert natürlich der Strom so lange, als die ununterbrochene Leitung zwischen beiden stattfindet und beide Körper eine ungleiche Spannung haben. Dass ein Strom nicht bloss vorhanden ist, wenn der eine Körper positiv, der andere negativ geladen ist, sondern auch dann, wenn der eine stärker als der andere mit der gleichen Elektricität geladen ist, davon kann man sich jederzeit durch das Experiment überzeugen. Als Stromrichtung wird angenommen die Richtung vom positiv zum negativ geladenen Körper, aber auch vom stärker positiven zum weniger stark positiven, vom weniger zum stärker negativen. Die Entstehung galvanischer Ströme ist also immer Spannungsdifferenzen zuzuschreiben.

Erinnern wir uns an folgende Thatsache: Durch die in den Batterien vorhandenen elektromotorischen Kräfte werden Spannungsdifferenzen an den Batteriepolen hervorgebracht; desshalb Strom im Schliessungskreise. — Umgekehrt: legen wir an den Leitungsdraht *EadbE* in den Puncten *a* und *b* den Zweig *acb* an, so erhalten wir in demselben Strom, folglich muss in *a* und *b* Spannungsdifferenz vorhanden sein.

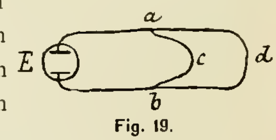


Fig. 19.

Sind in der Wheatstone'schen Brücke die Widerstände ac : cb = af : fb, so ist in dem Brückendraht *cf* kein Strom, folglich müssen die Puncte *c* und *f* gleiche Spannung haben.

Fig. 20.

Von grosser Wichtigkeit ist nun das Folgende:

56. Man kann durch das Experiment nachweisen, dass das Ohm'sche Gesetz nicht allein Giltigkeit hat für einen Stromkreis, welcher aus galvanischen Elementen und einer strom-

schliessenden Leitung besteht, sondern es gilt dieses Gesetz auch für eine Leitungsstrecke, einen Draht, der zwei Orte beliebiger Spannungsdifferenz mit einander verbindet — die Spannungsdifferenz kann herkommen, woher sie wolle. An die Stelle der elektromotorischen Kraft tritt dann die Grössenangabe der Spannungsdifferenz beider Orte, welche man, wie die elektromotorische Kraft, in Volt misst und angibt.

57. Es ist hier darauf aufmerksam zu machen, dass man die beiden Ausdrücke »elektromotorische Kraft« und »Spannungsdifferenz« — obwohl man sie mit der gleichen Einheit »Volt« misst — nicht mit einander verwechseln darf. Die elektromotorische Kraft ist eine Kraft und ist als solche eine der Ursachen der Trennung beider Elektricitäten aus dem natürlichen, unelektrischen Zustande. Die Spannungsdifferenz ist der Unterschied der elektrischen Spannungs-Zustände, in welchem zwei Körper oder wenigstens zwei verschiedene Puncte eines Körpers sich befinden. Diese Zustände können zwar durch elektromotorische Kräfte hervorgebracht und erhalten werden, aber auch wegen anderer Ursachen vorhanden sein.

58. Gleichbedeutend mit dem Worte Spannungsunterschied ist noch elektrische »Potentialdifferenz« und »elektrischer Druck«.

Spricht man von der Spannung (dem Potential) eines einzelnen Körpers oder Punctes, so ist damit der Spannungsunterschied zwischen ihm und der Erde gemeint. Das Potential der Erde wird als Null angenommen.

59. Um die mit dem erweiterten Ohm'schen Gesetz verbundenen Rechnungen leicht fasslich zu geben, können wir uns die beiden Puncte, welche Spannungsdifferenz besitzen, z. B. *a* und *b* in Fig. 19, und deren Spannungsdifferenz die Veranlassung des Stromes *acb* ist, durch eine Batterie verbunden denken ohne inneren Widerstand, dagegen mit einer elektromotorischen Kraft E_1 von so viel Volt versehen, als die Spannungsdifferenz zwischen *a* und *b* beträgt.

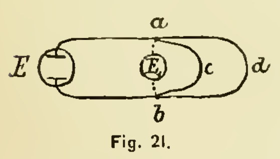


Fig. 21.

Die übrige Leitung *EadbE* könnten wir dann unbeschadet der Stromzustände in *acb* weglassen. Ist der Widerstand des Drahtes *acb* W Ohm, die Stromstärke S Ampères und die elektromotorische Kraft dieser Batterie E_1 Volt, so ergibt das Ohm'sche Gesetz für diesen Stromkreis $E_1 a c b E_1$, dass $S = \frac{E_1}{W}$ ist.

Wollte man also die elektromotorische Kraft E_1 dieser Batterie berechnen, wenn Stromstärke und Widerstand in Ampères und Ohm bekannt sind, so würde sich dafür die Gleichung umsetzen in den Ausdruck

$$E_1 = \frac{S}{W}.$$

Die Batterie E_1 ist in Wirklichkeit nicht vorhanden, sondern dafür die Spannungsdifferenz Δ der Punkte *a* und *b*; diese ist, da das Ohm'sche Gesetz auch für die Strecke *acb* giltig ist

$$\Delta = \frac{S}{W} \text{ Volt.}$$

Diese Verallgemeinerung der Giltigkeit des Ohm'schen Gesetzes kommt bei elektrischen Messungen sehr häufig in Anwendung. Es sollen hier einige Beispiele folgen, welche in der Praxis öfters gebraucht werden.

60. Bestimmung der Spannungsdifferenz an Elementen- oder Batteriepolen (Klemmspannung). Bestimmung der elektromotorischen Kraft einer Batterie.

Die beiden Klemmschrauben *a* und *b* werden, wie Fig. 22 zeigt, mit einem Rheostaten *R* und einem Galvanometer G geschlossen, welcher die vorhandene Stromstärke *S* direkt in Ampères abzulesen gestattet (Einheitsgalvanometer). Mit Hilfe des Rheostaten *R* wird der Strom so geschwächt, dass man brauchbare Ablesungen am Galvanometer erhält. Hat das Galvanometer den Widerstand w Ohm, und zählt man am Rheostaten W Ohm, so ist die Spannungsdifferenz an den Klemmschrauben *a* und *b*

Fig. 22

$$\Delta = \frac{S}{W + w} \text{ Volt.}$$

Der Widerstand W wird in diesem Falle Erganzungswiderstand des Galvanometers genannt.

Haben die Leitungsdrähte *aG, GR, RB* so viel Widerstand r, dass er das Resultat der Rechnung beeinflussen könnte, so besteht natürlich die Formel:

$$\Delta = \frac{S}{W + w + r} \text{ Volt.}$$

Die elektromotorische Kraft E eines Elementes oder einer Batterie kann man auf die gleiche Weise experimentiren; jedoch muss man vorher den inneren Widerstand R in Ohm bestimmt haben,[1]) dann ist

$$E = \frac{S}{R + W + w + r.}$$

[1]) Oder W so gross nehmen, dass R dagegen ohne Einfluss für die Rechnung ist.

Bestimmung der Spannungsdifferenz an den applicirten Elektroden. 61.

Der von der Batterie E Fig. 23 ausgehende constante Strom werde durch ein Einheitsgalvanometer G (zur directen Ablesung in Ampères), zur Elektrode e_1 geleitet, durchfliesse dann die Muskelpartie K bis zur Elektrode e_2, von wo der Strom zur Batterie E zurückgeht. Es ist die Spannungsdifferenz zwischen e_1 und e_2 zu bestimmen.

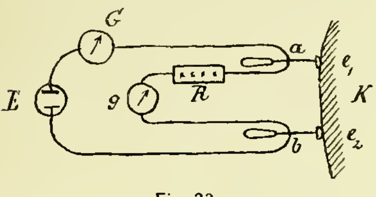


Fig. 23.

Man legt von der Elektrode e_1 zur Elektrode e_2 eine Zweigleitung $aRgb$ an, welche den Ergänzungswiderstand R und ein Galvanometer g enthält, das die Stromstärke s in Ampères ablesen lässt. Der Widerstand w des Galvanometers ist in Ohm angegeben. Vermittelst des Rheostaten R schaltet man so viel Widerstand W in den Strom agb ein, dass die Nadel des Galvanometers etwa 45° zeigt, bei welchem Winkel jedes Galvanometer die genauesten Resultate ablesen lässt.

Die Spannungsdifferenz Δ in a und b ist dann:

$$\Delta = \frac{S}{W + w} \text{ Volt.}$$

Die nämliche Spannung findet natürlich auch auf den Elektroden e_1 und e_2 statt, da zwischen ae_1 und be_2 keine Widerstände sich befinden.

Bei der in Fig. 23 angegebenen Schaltung (Verbindungsweise der Leitungsdrähte und Apparate) geht natürlich nicht die ganze in G abzulesende Strommenge S durch K, sondern um die im Galvanometer g abgelesene Strommenge s weniger, also S — s Ampères.

Bestimmung des Widerstandes R vom menschlichen Körper durch die Messung der Spannungsdifferenz an den Elektroden und der Stromstärke. 62.

Wir haben soeben gefunden, dass die Stromstärke durch K in Fig. 23 S — s Ampères sei. Die Spannungsdifferenz Δ an den Elektroden e_1 e_2 haben wir vorhin gemessen, also lautet das Ohm'sche Gesetz für die Strombahn e_1Ke_2:

$$S - s = \frac{\Delta}{R} \quad \text{oder} \quad R = \frac{\Delta}{S - s} \text{ Ohm.}$$

Bestimmung der Empfindlichkeitsgrenze eines Galvanometers. 63.

Diese Grenze gibt man dadurch an, dass man die Stromstärke in Ampères berechnet, welche noch einen bemerkbaren Ausschlag der Galvanometernadel hervorbringt. Bei weniger empfindlichen Galvanometern ist dies eine einfache Sache: man schaltet ein Element von bekannter Klemmspannung Δ in einen Stromkreis ein, in welchem das Galvanometer (dessen Widerstand sei w) und ein Rheostat Aufnahme gefunden haben. Nun schwächt man den Strom durch Einschalten von so viel Widerstand W, bis dessen

Intensität zur Grenze des Bemerkbaren z. B. $^1/_{10}$ Grad gesunken ist. Die Empfindlichkeitsgrenze σ ist dann

$$\sigma = \frac{E}{W + w} \text{ Ampères.}$$

Bei hochempfindlichen Galvanometern, z. B. dem Rosenthal'schen Mikrogalvanometer, ist diese Methode deswegen nicht zu benützen, weil man in den Stromkreis zu nur einem Daniell'schen Elemente Milliarden Ohm einschalten müsste, welche Niemand zur Verfügung stehen. So schwache Ströme kann man nur durch kleine, aber berechenbare Spannungsdifferenzen in einer Leitung möglicher Widerstände herstellen:

Ein strommessendes Galvanometer *G* Fig. 24, ein Element *E* und ein Rheostat R werden zusammen mit einem sogenannten Messdraht *a b* in einen Stromkreis gebracht. Unter einem Messdraht versteht man einen entlang der Theilung eines Maassstabes ausgespannten Leitungsdraht bekannten Widerstandes. Gewöhnlich gibt man dem Messdrahte 1 Ohm Widerstand bei der Länge von 1 Meter; es hat dann z. B. der Millimeter 0,001 Ω.

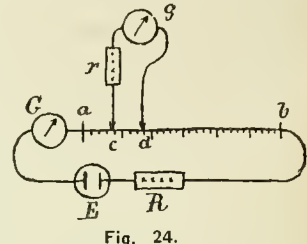


Fig. 24.

Von diesem Messdrahte geht vermittelst zweier Contacte *c* und *d* ein Stromzweig (Stromschleife) ab, welchem wieder ein Rheostat *r* und das zu untersuchende Galvanometer *g* einverleibt sind. Diese beiden Contacte *c* und *d* sind sogenannte Gleitcontacte, d. h. messerartig abgekantete, mit Klemmschrauben für die Aufnahme der Leitung *crgd* versehene Metallstücke, welche in beliebiger, nach Millimetern ablesbarer Entfernung von einander auf dem Drahte *ab* aufliegen.

Die Verwendung dieser Combination geht aus folgender Betrachtung hervor. Der Widerstand (W Ohm) des Messdrahtes *ab* ist bekannt. Der Strom, welcher durch denselben hindurchgeht, kann vermittelst des Rheostaten *R* auf eine bestimmte Intensität gebracht werden, welche am Galvanometer *G* abgelesen wird. Für die Spannungsdifferenz Δ der Puncte *a* und *b* findet also folgender Ausdruck statt:

$$\Delta = \frac{S}{W} \text{ Volt.}$$

Nehmen wir an, dass durch Einschaltung passender Widerstände in *R* die Stromstärke in *G* ein Milliampère = 0,001 A beträgt, dann haben wir gemäss obiger Gleichung zwischen den Puncten *a b* eine Spannungsdifferenz von 0,001 Volt. Sind die beiden Contacte *cd* nur 1 Centimeter auseinander, so ergibt obige Rechnung für die Puncte *cd* eine Spannungsdifferenz von

$$\Delta = \frac{0{,}001 \text{ A}}{0{,}01 \ \Omega} = 0{,}00001 \text{ Volt.}$$

Diese kleine Spannungsdifferenz tritt für die Stromerzeugung in der Schleife *crgd* in Rechnung. Wäre nun beispielsweise der Widerstand des Galvanometers *g* 100 Ω und wir müssten in *r* noch 900 Ω zuschalten,

um 1 Grad am Galvanometer als Ausschlag zu erhalten, so hätten wir hiezu

$$\frac{0{,}00001 \text{ V}}{100\ \Omega + 900\ \Omega} = 0{,}00000001 \text{ A benützt.}$$

Da wir aber noch $^1/_{10}$ Grad ablesen können, so geht das Komma noch um eine Stelle vor, und wir haben als Grenze für die Empfindlichkeit des Galvanometers

$$\sigma = 0{,}000000001 \text{ A}$$

64. In Fig. 25 ist die Mechanik eines Messdrahtes dargestellt, jedoch nur die Hälfte; das andere Ende und der zweite Gleitcontact sind weggelassen.

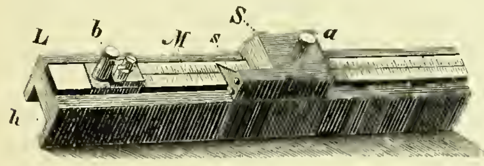


Fig. 25.

M ist der über einer Millimetertheilung und zwischen zwei Metallklötzen *b* ausgespannte (Nickelin-) Messdraht; er hat etwas mehr als ein Ohm. *S* ist ein schwerer Schlitten, der entlang der Holzschiene *L* geführt wird. An demselben ist die Contactschneide *s* befestigt. In der Höhlung *h* ist noch ein beide Klötze *b* verbindender Widerstand, der corrigirbar ist, angebracht (Uppenborn). Beide Drähte miteinander haben ein Ohm oder können sehr leicht und genau auf diesen Widerstand eingestellt werden, was für die Messungen dasselbe ist, als ob nur der Draht *M* vorhanden wäre und dieser 1 Ω hätte.

Magnet, Nord- und Südpol, Richtkraft der Erde, Fernewirkung, Magnetisiren, Elektromagnet.

65. Allgemein bekannt ist die Eigenschaft von Stahl und Eisen, einen Zustand annehmen zu können, durch welchen von ihnen ein Stück weiches Eisen herangezogen und mit einer gewissen Kraft festgehalten wird. Derart geeigenschaftete Körper heissen Magnete; die Kraft, mit welcher der Magnet das Stück Eisen an sich festzieht, heisst magnetische Kraft und endlich der Vorgang, durch welchen Stahl oder Eisen magnetische Kräfte erhält, Magnetisiren.

Das Magnetisiren kann durch den galvanischen Strom vorgenommen werden, indem man mit Seide oder Baumwolle umsponnenen Leitungsdraht in vielen gleichgerichteten Windungen um das zu magnetisirende Material herumwickelt und durch den Draht einen kräftigen Strom schickt.

Ein eigenthümlicher Unterschied zwischen gehärtetem Stahle und ausgeglühtem weichen Schmiedeeisen besteht darin, dass während des Magnetisirungsvorganges zwar beide Magnete sind, dass aber

nach dem Magnetisiren der harte Stahl Magnet bleibt, das weiche Eisen jedoch nicht. Es verliert im Augenblicke des Verschwindens der magnetisirenden Ursache seine magnetischen Eigenschaften bis auf einen ganz kleinen Rest, remanenter Magnetismus genannt. Auf dieser Beweglichkeit der magnetischen Eigenschaften des weichen Eisens beruht bekanntlich seine Verwendung in der Telegraphie und in der Elektrotechnik.

Magnetisirt man ein irgendwie geformtes Stück Stahl, so lässt sich leicht nachweisen: dass die magnetischen Eigenschaften an zwei Orten, Pole genannt, angehäuft sind, dass diese beiden Orte aber verschiedenen Magnetismus besitzen, dass die Magnetismen beider Pole, wenn auch entgegengesetzt zu bezeichnen, doch quantitativ gleich sind; ferner, dass die eine Art des Magnetismus nie auftritt oder verschwindet ohne gleichzeitige Existenz oder Anullirung der anderen. Wir wollen zunächst einige der angedeuteten Thatsachen eingehender betrachten.

66. Bilden wir uns aus isolirtem Kupferdraht eine Leitungsspirale — auch Rolle, Solenoid genannt — und schicken einen Strom in der Richtung wie die Pfeile in Fig. 26 angeben, durch ihre Windungen, während gleichzeitig der gehärtete Stahlstab *NS* im Hohlraume der Rolle liegt, so bemerken wir, dass die beiden Enden *N* und *S* durch diesen Magnetisirungsprozess magnetische Eigenschaften erlangt haben und auch, weil wir harten Stahl anwendeten, nach dem Aufhören des Stromes oder dem Herausnehmen des Stahlstabes aus der Spirale behalten. Hängen wir nun diesen magnetisirten Stahlstab in seiner Mitte an einem ungedrehten Faden auf, dass er sich um diesen als verticale Achse beliebig drehen kann, oder setzen wir ihn, wie wir dies bei jedem Compass sehen, auf eine feine Spitze, so geräth derselbe zunächst in Schwingungen, die nach und nach in ihrem Winkelbetrage abnehmen, und er bleibt schliesslich in einer Richtung stehen, welche magnetischer Meridian heisst und ungefähr der astronomischen Nord-Süd-Richtung entspricht. Das Ende, welches nach Nord zeigt, heisst man Nordpol des Magnetstabes, das andere Ende Südpol.

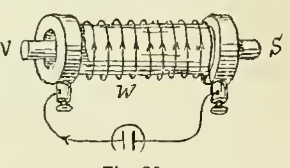


Fig. 26

67. Als Regel gilt: zum Nordpol wird — Fig. 26 — immer dasjenige Ende des Stabes, welches zur Linken liegt, während wir

uns mit dem Strome in gleicher Richtung schwimmend denken, das Antlitz dem Stabe zugewendet.

68. Nähern wir dem Nordpole eines beweglich aufgehängten Magnetstabes den Südpol eines zweiten, so findet gegenseitige Anziehung statt, bei Annäherung eines Nordpoles Abstossung: ungleiche Pole ziehen sich an, gleiche stossen sich ab. Daraus folgt unmittelbar wegen der Richtkraft der Erde auf einen beweglichen Magneten, dass die Erde selbst magnetische Eigenschaften besitzen muss und zwar, dass im astronomischen Norden ein magnetischer Südpol und umgekehrt beim astronomischen Südpol ein magnetischer Nordpol lagernd gedacht werden kann.

69. Mit Hilfe eines Compasses kann man sehr leicht nachweisen, dass die anziehenden und abstossenden Kräfte, welche von einem Magneten ausgehen, auf grosse Entfernungen noch wirksam sind, und dass diese Kraftäusserungen durch Holz, Glas, Metalle, den menschlichen Körper etc. hindurch gehen, als ob letztere gar nicht vorhanden wären; es kann die magnetische Fernwirkung nur durch Eisen aufgehalten werden.

70. Der ganze Raum, in dem die von einem Magneten ausgehenden Kräfte bemerkbar sind, heisst dessen magnetisches Feld; so befinden sich z. B. eine Compassnadel im magnetischen Felde des Erdmagnetismus, der Stahlstab *NS* Fig. 26 im magnetischen Felde der Drahtrolle *W*, eine Galvanometernadel im erdmagnetischen Felde und zugleich im magnetischen Felde der Galvanometerrollen. Die Stärke der magnetischen Wirkungen ist jedoch in dem Felde, das einen Magneten umgibt, sehr verschieden. Sie nimmt mit wachsender Entfernung von den Polen sehr schnell ab (proportional dem Quadrat der Entfernung), und es ist selbst in Bezug auf den Erdmagnetismus nur für kleinere Bezirke Gleichwerthigkeit — homogenes magnetisches Feld — anzunehmen.

Eisen und Stahl, die sich in einem magnetischen Felde befinden, werden selbst magnetisch. Bringen wir einen Körper aus magnetisirungsfähigem Materiale mit seinem einen Ende in die Nähe oder noch besser in Berührung mit einem Pole, z. B. einem Südpol, so entsteht an diesem Ende der entgegengesetzte (Nord-), am anderen Ende der gleiche (Süd-) Pol. Es ist dies eine häufig verwendete Magnetisirungsweise: um so wirksamer, je kräftiger der magnetisirende Pol genommen wird. Man verwendet zu solcher Arbeit gewöhnlich die Pole grosser Elektromagnete.

71. Der einfachste Elektromagnet besteht aus einer durch viele Windungen gebildeten Rolle isolirten Drahtes. Im Innern derselben befindet sich weiches Eisen, das unter dem Einflusse eines durch die Drahtwindungen gehenden kräftigen galvanischen Stromes stark magnetisch wird. Beide aus den Windungen hervorragende Enden des Eisens *NS* Fig. 26 werden die Pole. Gewöhnlich verbindet man zwei solcher einfacher Elektromagnete zur Hufeisenform, wie Fig. 27 schematisch zeigt. Die beiden Pole *ns* werden durch ein Stück weiches Eisen *E*, in welches die Eisenstäbe *nS* und *sN* eingeschraubt sind, verbunden. *ns* verschwinden hierdurch in ihrer Wirkung nach aussen, und die Pole *NS* werden um so wirksamer, liegen auch, was constructiv häufig erwünscht ist, nahe beisammen. Ein in ihre Nähe gebrachtes Stück weiches Eisen *νσ* wird stark magnetisch und kräftig angezogen. Wird der Strom unterbrochen, so verschwindet mit dem Magnetismus die Kraftwirkung auf den Anker *νσ*.

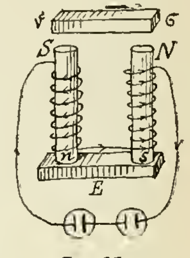


Fig. 27.

Sehr grosse magnetisirende Kräfte, wie solche nothwendig sind zum Magnetisiren von Galvanometernadeln, z. B. der Siemens'schen Glockenform, zum Magnetisiren subcutan verborgener Nähnadeln u. s. w. erhält man mit meinem in Fig. 28 dargestellten Elektromagneten. Derselbe besteht aus dicken mit den Drahtrollen *R* umgebenen Eisencylindern, welche einerseits in die Polansätze *a*, andererseits in die grossen Eisenwürfel *C* endigen. Vermittelst derselben ist die in Fig. 27 angegebene erforderliche magnetische Verbindung *E* der Pole *ns* durch den Eisentisch *p* der Fig. 28 hergestellt, jedoch können die Würfel mit ihren Unterseiten oder mit den *a* gegenüberliegenden Flächen aufgesetzt und damit jede beliebige Lage und Entfernung der Pole *a* zu einander erreicht werden.

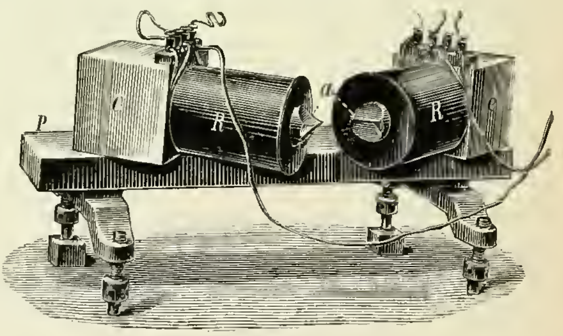


Fig. 28.

Magnetnadel. Zeiger- und Spiegelablesung. Scalenfernrohre.

72. Ein Magnet, zwar irgendwie geformt, aber um eine Drehaxe leicht drehbar, so dass äussere Kräfte seine Richtung beeinflussen können, heisst Magnetnadel. Ist ein Magnet hiezu verwendet, der sich um verticale Axe drehen kann, so heisst eine solche Nadel Deklinationsnadel. Diese erhält, wie oben schon erwähnt, ihre Drehbarkeit entweder vermittelst einer feinen Stahlspitze, welche sich in einem feinpolirten Achathütchen lagert, oder noch reibungsfreier, indem man sie an einem einfachen, oder wenn es das Gewicht der Nadel erfordert, an mehreren parallel gebundenen — nicht gedreht wie ein Zwirnfaden — Coconfäden C Fig. 29 aufhängt. Es ist von einer solchen Deklinationsnadel vor allem wichtig, die Lagen angeben zu können, in die sie sich unter dem Einflusse magnetischer Kräfte jeweils begibt. Zu diesem Zwecke ist sie für unseren Gebrauch meist mit einem unmagnetischen Zeiger Z fest verbunden, der über einer Theilung schwebt, wie dies in Fig. 29 schematisch angegeben ist. Die die Theilung tragende Scheibe S wird gewöhnlich so situirt, dass der Nullpunct der Theilung unter dem Zeiger liegt, wenn die Nadel ns nur vom Erdmagnetismus NS gerichtet wird.

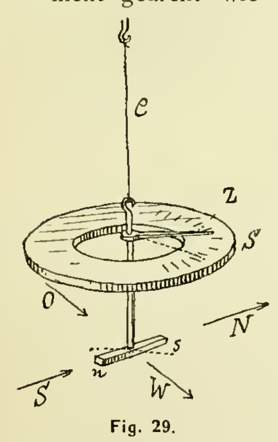


Fig. 29.

Wir benützen nun eine solche Deklinationsnadel häufig dazu, um andere magnetische Kräfte mit der Wirkung des Erdmagnetismus zu vergleichen. Soll dies geschehen, so bringen wir die anderen Kräfte in solcher Lage an, wie der Pfeil OW angibt, und zwar in gleicher horizontaler Höhe wie die Nadel, resp. ihre Pole, und in ihrer Richtung senkrecht zur Wirkungsrichtung NS des Erdmagnetismus. Unter dem Einflusse beider Kräfte erhält dann die Nadel sammt Zeiger eine neue Lage, die durch die punctirten Striche angegeben sein soll.

Eine Deklinationsnadel sammt Drehvorrichtung, Zeiger (oder Spiegel), Theilplatte und luftabschliessendem Gehäuse heisst Bussole. Häufig ist die Magnetnadel zugleich auch Zeiger. Sind aber Magnetnadel und Zeiger getrennt, so können sie natürlich unbeschadet der Genauigkeit der Bussole beliebig gegen einander verschränkt sein, wie dies auch in Fig. 29 angedeutet ist.

73. Sollen die Richtungsränderungen einer Nadel mit grosser Genauigkeit angegeben werden, hauptsächlich dann, wenn sie sehr klein sind, so behilft man sich am besten mit einer optischen, von Poggendorff zuerst angedeuteten Methode, welche in Fig. 30 schematisch wiedergegeben ist. Man verbindet nämlich mit der am Coconfaden *C* hängenden Magnetnadel *ns* einen vollkommen ebenen Spiegel *S* und stellt nun ein Fernrohr *F* und einen horizontal liegenden Maassstab *M* in einiger Entfernung vor dem Spiegel *S* so auf, dass man durch das Fernrohr *F* blickend, im Spiegel den

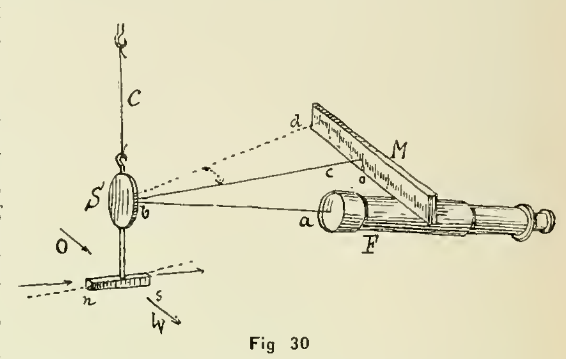


Fig 30

Mittelpunkt *o* der Scala *M* gespiegelt sieht. Die Linien *ab, bc* stellen den Gang der Lichtstrahlen vor, wenn die Nadel *ns* in ihrer Ruhelage sich befindet. Tritt nun durch magnetische Kräfte in der Richtung *OW* eine Lageveränderung (punctirt) der Nadel ein, so dreht sich gleichzeitig mit ihr der Spiegel und man sieht jetzt einen anderen Punct *d* der Scala unter das Fadenkreuz des Fernrohres treten. Dass der Winkel *cbd* doppelt so gross ist, als der Winkel, um den sich die Nadel gedreht hat, ergibt sich aus dem Gesetz der Spiegelung und trägt noch zur Erhöhung der Genauigkeit bei.

Die soeben geschilderte Bestimmung der Bewegung einer Magnetnadel durch Spiegel, Scala und Fernrohr heisst gewöhnlich Gauss'sche »Spiegelablesung« und der Apparat, welcher Maassstab und Fernrohr zu

74. diesem Zwecke in sich enthält, Scalen- oder Ablesefernrohr. Dieses wichtige Instrument, ohne welches magnetische und galvanische Messungen von grösserer Genauigkeit, z. B. Normalbestimmungen, nicht ausgeführt werden können, ist nachfolgend in den gebräuchlichsten Constructionstypen durch die Fig. 31, 32, 33 wiedergegeben.

Diesen Instrumenten gemeinsam ist das astronomische, mit Fadenkreuz versehene Zugfernrohr *F*, welches um verticale Axe in *d* grob und durch die Schraube *e* mikrometrisch gedreht, durch die Mikrometerschraube *y* auch geneigt werden kann. Mit dem Fernrohrlager *R* verbunden ist die Säule *S*, an welcher der Maass-

stab *M* sitzt. Dies vermittelt ein Zwischenstück *i*, durch dessen mechanische Einrichtung ermöglicht ist, die Scala hoch und nieder zu stellen, gegen *S* zu schränken und in der eigenen Längsrichtung wegen genauer Einstellung des Nullpunctes unter das Fadenkreuz zu verschieben. Die Scalen sind aus altem Holze mehrfach verleimt, damit sie sich nicht verziehen, mit Papier oder Celluloid überzogen und in Millimeter getheilt, wie Fig. 34 stückweise zeigt.

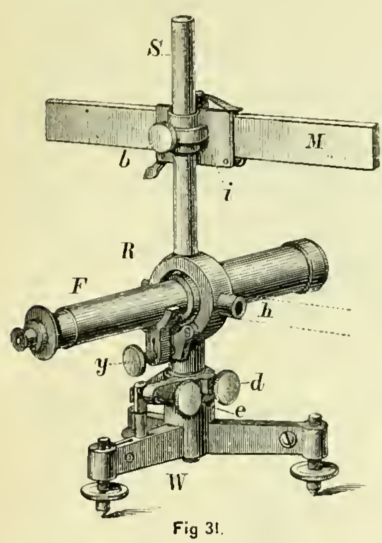


Fig 31.

Der Unterschied dieser Apparate besteht darin, dass das Scalenfernrohr Fig. 31 auf einem gewöhnlichen Dreifuss *W* mit Stellschrauben montirt ist, mit welchem es auf einem Tisch oder einem Wandconsol aufgestellt werden kann. Fig. 32 zeigt die directe Befestigung auf einem sogenannten Gauss'schen Stative, das auf dem Fussboden steht, aus Holz hergestellt ist, und eine prismatische Säule *N* zum Hoch- und Niedrigstellen vermittelst Kurbel *K* und Zahnstange enthält. Das Gelenk *q* dient zur horizontalen Parallelverschiebung des Scalenfernrohres.

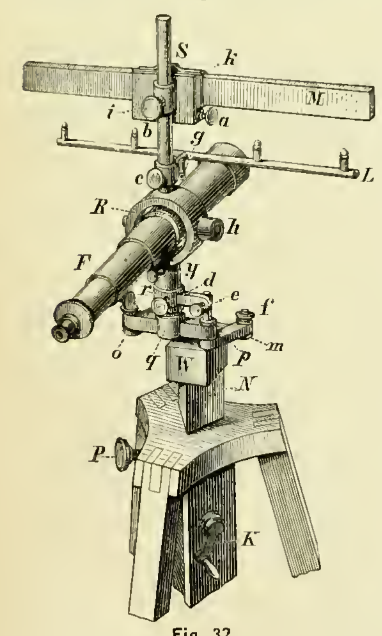


Fig. 32.

In Fig. 33 endlich ist ein Ablesefernrohr abgebildet, welches an einem über Kopfhöhe in das Mauerwerk eingelassenen Balken *B* hängt. Letztere Einrichtung empfiehlt sich bei ungenügender Festigkeit des Fussbodens. In mehreren neueingerichteten Laboratorien des In- und Auslandes wird letztere Construction wegen grosser Bequemlichkeit und Raumersparniss fast ausschliesslich ver-

wendet. Vermittelst der Klaue *A* und der Schraube *d* kann das Instrument an beliebigem Orte des Balkens befestigt werden; die Klemmen *py* dienen zum Hoch- und Niedrigstellen der Tragsäule *S*.

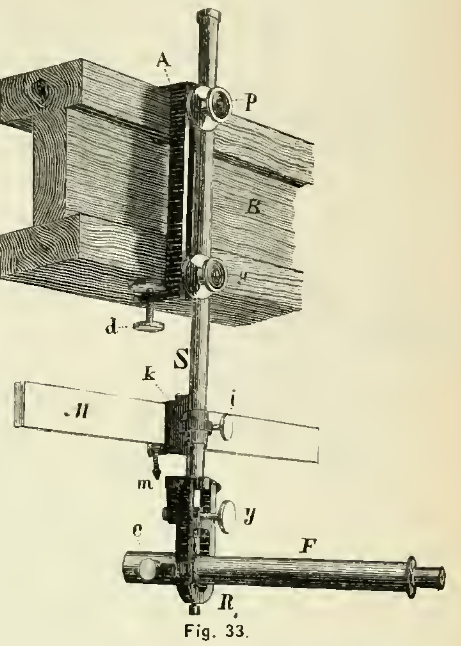
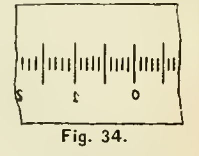


Fig. 33.

75. Einstellung von Fernrohr und Scala auf den Spiegel. An allen besseren Spiegelinstrumenten sind die Spiegel gegen die Nadel verdrehbar; man drehe also zuerst den Spiegel so, dass in der Ruhelage der Nadel die Spiegelebene gegen jene Richtung weist, wo man das Scalenfernrohr aufzustellen beabsichtigt. Ist die Nadel frei beweglich gemacht, so verschiebt man das Ocularrohr annäherungsweise auf die richtige Sehweite, d. h. bis man in der doppelten Entfernung von Spiegel und Scala einen Gegenstand deutlich sieht. Dann gibt man dem Fernrohre, das man nach dem Spiegel gerichtet hat, durch Verschieben, Hoch- und Niedrigstellen einen solchen Ort, dass das dicht über dem mittleren Scalentheil visirende Auge das Objectiv des Fernrohrs, oder umgekehrt das neben dem Fernrohr vorbei visirende Auge die mittlere Scalenpartie im Spiegel sieht. Alsdann wird das Bild der Scala, wenn es nicht bereits im Gesichtsfelde des Fernrohres ist, durch eine kleine Drehung des Rohrs oder durch Auf- und Abschieben der Scala an der Befestigungssäule in demselben erscheinen. Schliesslich werden die feineren Einstellungen vorgenommen.


Fig. 34.

Zu denselben gehört das vollkommene Senkrechtstellen der Scala gegen die Drehaxe des Spiegels mit Hilfe des Excentriks *m* (Fig. 33). Mängel in dieser Richtung verrathen sich durch Auf- und Abschwanken des Scalenbildes beim Drehen des Spiegels. Ferner gehört zu den feineren Correctionen das gleichzeitige Deutlichsehen von Scala und

Fadenkreuz: man nimmt das Ocularrohr heraus und stellt, indem man dasselbe gegen den hellen Himmel hält, das Fadenkreuz vermittelst der speziell dafür an jedem Fernrohr angebrachten Correctionsvorrichtung auf das Maximum des Deutlichsehens. Hierauf wird der Ocularzug wieder ins Fernrohr verbracht und so lange verschoben, bis auch die Scalentheile deutlich und ohne Parallaxe erscheinen, d. h. bis sich bei dem seitlichen Bewegen des Auges vor dem Ocular und stillstehendem Spiegel keine Verschiebung zwischen Fadenkreuz und Fernrohr mehr erkennen lässt.[1])

Für gewöhnliche Zwecke sind Fernrohre mit Objectivgrösse zwischen 20 und 40 Millimeter Oeffnung (Durchmesser des Objectivs) genügend.

Ortsbestimmung eines subcutanen Fremdkörpers aus Eisen oder Stahl.

76. Zur exacten Bestimmung des Ortes, an dem sich ein Fremdkörper aus Stahl oder Eisen, z. B. eine im Körper-Inneren steckende Nähnadel befindet, kann man nachfolgend beschriebene Methode mit sicherem Erfolge anwenden. Es sei hier gleich vorausgeschickt, dass die hierauf bezüglichen Arbeiten in drei Abschnitte zerfallen:

1) Die Magnetisirung des Fremdkörpers.

2) Orientirende vorläufige Untersuchung, ob überhaupt ein solcher Fremdkörper vorhanden ist, und Angabe des ungefähren Ortes.

3) Genaue Ortsbestimmung.

Zu diesen Untersuchungen ist die Zuhilfenahme einiger Apparate nothwendig, deren Einrichtung zunächst in möglichster Kürze beschrieben werden soll.

77. I. Die astatische Nadel. Sie ist in Fig. 35 dargestellt und besteht aus zwei dünnen Magnetstäbchen ns, $n_1 s_1$, welche durch einen etwa 10 cm langen Stiel a parallel verbunden sind,

---

[1]) Hat sich der Spiegel um den Winkel φ gedreht, und liest man im Fernrohre eine Ablenkung von n Maassstabtheilen ab, dann gilt für kleine Winkel bis 6° und den Abstand der Scala vom Spiegel r (in Maassstabtheilen) folgende Beziehung:

$$\varphi = \frac{1718,9}{r} \, n \left(1 - \frac{1}{3} \frac{n^2}{r^2}\right) \text{ Winkelminuten,}$$

oder auch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n}{2r} \left(1 - \frac{n^2}{4r^2}\right)$$

jedoch so, dass die gleichen Pole beider Stäbchen nach entgegengesetzten Seiten liegen. Vermittelst eines einfachen Coconfadens kann das Ganze, wie die Fig. 35 zeigt, um verticale Axe frei beweglich aufgehängt werden. *ns* und $n_1 s_1$ sind sehr sorgfältig gleich magnetisirt, so dass eine Richtkraft von Seite des Erdmagnetismus nicht mehr zu bemerken ist. Wohl aber zeigt dieses astatische System eine sehr hohe Empfindlichkeit für magnetische Kräfte, welche man auf eine der Nadeln wirken lässt.

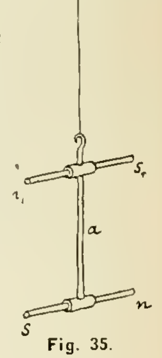


Fig. 35.

Diese letztere Eigenschaft ist desshalb so bemerkbar, weil beide Nadeln weit von einander entfernt sind; bringt man ein noch so kleines, aber magnetisches Stahlstückchen nur in einige Nähe, z. B. der unteren Nadel, so dreht sich dieselbe sofort in der Richtung der von dem Stahlstück ausgehenden magnetischen Kraft.

Diese einfache Vorrichtung genügt für die Aufsuchung des Ortes eines stählernen Fremdkörpers sehr häufig, und dies ist um so schätzenswerther, als man sich dieselbe im Nothfall aus zwei ganz gleichen feinen Nähnadeln, einem geraden dürren Grashalme und Wachs überall sehr leicht selbst zusammenbauen kann. Der Aufhängefaden muss jedoch sehr sorgfältig ausgewählt werden: er muss sehr dünn, ungedreht und ein langer, womöglich einfacher Coconfaden sein, damit er dem astatischen Systeme vollkommen freie Beweglichkeit lässt. Im Nothfalle muss man ihn aus einem Seidenfaden herauspräpariren oder einen der langen Befestigungsfäden nehmen, mit dem die Kreuzspinne ihr Netz an entfernte Gegenstände spannt. Dass die beiden Nadeln durch Streichen mit einem Magneten magnetisirt werden müssen und wie, setze ich als bekannt voraus.

78. II. Das Lamont'sche Magnetoskop. Dieses Instrument enthält als wesentlichen Bestandtheil — Fig. 36 — eine Magnetnadel *ns*, welche senkrecht zu ihrer Mitte von einem Hebel *acb* getragen wird. Am freien Ende des Hebels bei *b* sitzt das Gegengewicht *b*, das die Magnetnadel in Bezug auf den Punct *c* des Hebels im Gleichgewicht hält. Von *c* geht vertical aufwärts der Stift *cd* und trägt an einem Ende den Spiegel *S* und einen Haken *f*. Dieser ganze Complex ist starr unter sich verbunden und wird vermittelst des Hakens *f* an einen Coconfaden gehängt, vermöge dessen eine Drehbarkeit des Ganzen um die verticale Axe *cf* statt-

finden kann. Sind indessen die auf die Nadel *ns* wirkenden magnetischen Kräfte sehr gross, so dass die Ablenkungen zu bedeutend werden, so muss man den Coconfaden durch einen Metalldraht ersetzen, der durch seine Torsion die Ablenkungen auf brauchbare Winkel reducirt.

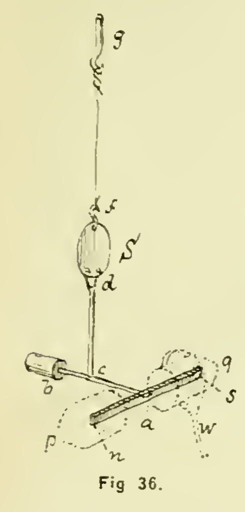


Fig 36.

Es unterscheidet sich also diese Nadel von der einer gewöhnlichen Bussole dadurch, dass der Mittelpunkt des magnetischen Elementes *ns* derselben nicht in der Drehaxe *cf* liegt, sondern um die Strecke *ac* aus derselben heraus verlegt ist. Durch diese Einrichtung wird erreicht, dass ein in der Verbindungslinie *ns* und vor ihren Polen, z. B. in *p* befindlicher magnetischer Gegenstand drehend auf die Nadel wirken kann. Bei einer gewöhnlichen Bussolennadel müsste man, um eine Drehung derselben hervorzubringen, den Gegenstand links oder rechts von *s* oder *n* anbringen, wozu wegen der übrigen Mechanik der Bussolen nicht so leicht Platz zu schaffen ist. Auch ist wegen der Regelmässigkeit der Einwirkung auf die Nadel, wegen der Möglichkeit der grossen Annäherung etc. dieser von Lamont zu ähnlichen Zwecken angegebenen Einrichtung unbedingt der Vorzug zu geben.

Wenn sich unsere Nadel *ns* dreht, dann dreht sich mit ihr um denselben Winkel auch der Spiegel *S*. Dieser Spiegel dient dazu, um vermittelst Fernrohr und Scala die Winkelbeträge der Drehungen zu beobachten. Man stellt (Fig. 30) in der Entfernung von 2 bis 3 Metern vor dem Spiegel ein Scalenfernrohr so auf, dass man durch das Fernrohr in den Spiegel sehend die Millimetertheilung des Maassstabes gespiegelt sieht. Mit den Bewegungen des Spiegels verschiebt sich natürlich auch das Spiegelbild des Maassstabes gegen das im Oculare des Fernrohrs angebrachte Fadenkreuz. Man notirt bei Bestimmung der Drehungsgrössen der Magnetnadel die jeweiligen Lagen des Maassstabes, wie man dieselben nach dem Aufhören der Schwingungen im Fernrohre abliest.

Die Enden der Nadel *ns* sind eingeschlossen in zwei Glasrohre, welche ich in Fig. 36 punctirt angegeben habe und welche in die stumpfen Spitzen *p* und *q* endigen. An diese Spitzen werden

jene Puncte der Körperoberfläche angelegt, welche bezüglich ihrer magnetischen Eigenschaften untersucht werden sollen.

Die übrige Mechanik dieses Instrumentes ist unwesentlich und besteht lediglich aus einer engen Umhüllung der Nadel, welche sie gegen Luftzug schützt. In dieser Umhüllung sind die beiden Glaskuppen *p* und *q* befestigt. Ein aus Zink gegossenes und in eine Wand eingegipstes Consol trägt die Umhüllung. Ein zweiter, vom ersten vollständig getrennter Wandarm trägt den Suspensionsstift *g*. Diese Trennung ist desshalb nöthig, damit Erschütterungen, welche die Umhüllung beim Anlegen der zu untersuchenden Körpertheile an die Glaskuppen *p* und *q* erleidet, sich nicht auf die Magnetnadel und den Spiegel übertragen können. Die beiden Zinkträger springen weit aus der Wand vor, damit die zu untersuchende Person und ein Assistent allseitig an die Nadel herankommen können.

Um eine der Glaskuppen sind ausserdem noch einige Windungen *w* eines isolirten Kupferdrahtes herumgewunden. Man verbindet diese Drahtwindungen mit einem kleinen galvanischen Elemente unter Vermittlung eines Stromschlüssels einfachster Art. Da die einmal in Bewegung gebrachte Magnetnadel des Lamont'schen Magnetoskopes lange fortschwingen würde — sie hat keine sog. Dämpfung wegen Raummangels — so kann man mit einiger Uebung durch passendes Stromschliessen die Nadel jederzeit zur Ruhe bringen.

Ich bemerke an dieser Stelle, dass dieser Apparat, wie sich schon aus der Beschreibung ergibt, nicht transportabel gemacht werden kann; er muss irgendwo an einer erschütterungsfreien Wand befestigt werden.

79. Magnetisirung des Fremdkörpers. Man nähert dem Orte, wo man denselben vermuthet, einen sehr kräftigen Magneten. Ich benütze dazu in der Regel den Elektromagneten, der in Fig. 28 abgebildet ist; es eignet sich hiezu aber auch jeder kräftige Stahlmagnet. Kleinere Stahlstücke werden bekanntlich schon aus einiger Entfernung unter dem Einflusse starker Magneten bis zur Sättigung magnetisirt. Diese magnetisirende Wirkung durchdringt jedes Medium, wie Kleider, Muskulatur etc. Um das Stahlstückchen mit der magnetisirenden Kraft sicher zu treffen, führt man den Pol des Magnets entlang einer grossen Körperoberfläche in langsamer Bewegung auf und ab — den anderen Pol womöglich auf der entgegengesetzten Seite. Hierauf muss Jedermann, der in der Nähe des Instrumentes zu thun hat, sorgfältig darauf Bedacht nehmen, keine magnetisch

wirksamen Gegenstände an sich zu haben. Stahlbrille, Schlüssel, Corsett, Haarnadeln etc. sind abzulegen. Kleider- und Manchetten-Knöpfe, Haften und Schlingen sind häufig stark magnetisch, desgleichen Taschenuhren, Cravattenschliessen etc. Um sich zu vergewissern, dass sicher keine störenden Einflüsse auf die Magnetnadel mehr vorhanden sind, muss Jedermann dem Magnetoskope sich so nähern, wie dies während der Untersuchung kommen könnte, und man darf die eigentliche Arbeit erst dann beginnen, wenn das erdmagnetische Feld vollkommen »ausgejätet« ist, wie kürzlich Jemand sehr treffend bemerkte.

80. Orientirende Voruntersuchung. Mit dem Lamont'schen Magnetoskope ist dies eine sehr einfache Sache: man nähert den zu untersuchenden Körpertheil bei p oder q dem Instrumente. Bewegt sich der Maassstab im Fernrohr, so ist die Anwesenheit des zu suchenden Stahlkörpers unzweifelhaft. Bleibt die Nadel vollkommen in Ruhe, dann hat man die positive Gewissheit, dass nichts von Stahl oder Eisen unter der Haut sitzt.

Man dehnt die Untersuchung noch so weit aus, dass man den ungefähren Ort sucht, wo die Nadel den grössten Ausschlag macht, und notirt die Stelle auf der Haut mit Tinte.

Mit der astatischen Nadel gelingt diese vorläufige Orientirung in vielen Fällen, besonders dann, wenn der Fremdkörper nicht zu weit von der Hautoberfläche entfernt ist, oder wenn er grössere Dimensionen hat und infolge dessen ziemlich kräftig magnetisch ist: hauptsächlich aber dann, wenn seine Lage gegen die Oberfläche nicht allzusehr von der senkrechten Richtung abweicht. Man nähert den zu untersuchenden Körpertheil der unteren Nadel ns von der Seite her und bemerkt dann leicht, dass die ursprüngliche Ruhelage der Nadel verlassen wird, und einer der Pole der Hautoberfläche näher tritt; wo die Anziehung am stärksten und die Nadel sich senkrecht stellt, wird die Marke angebracht.

Es ist nun sehr gut, wenn man an diesem Puncte nochmals einen starken Magneten mit dem früher schon genähert gewesenen Pole anlegt, damit man sicherlich eine möglichst hohe Magnetisirung des Fremdkörpers erreicht. Hier sei bemerkt, dass technisch verwendetes Eisen nie so weich ist, als dass es sich nicht magnetisiren liesse. Nun kann man endlich zur exacten Ortsbestimmung schreiten.

81. Ortsbestimmung mit der astatischen Nadel. Dieselbe ist sehr leicht vorzunehmen, und es gelingt, wie oben schon

bemerkt, in vielen Fällen mit ihr allein eine genaue Ortsbestimmung; vollkommen sicher ist man immer dann, wenn man eine Stelle aufzufinden vermag, wo sich die Nadel mit grösserer Direktionskraft senkrecht gegen die Hautoberfläche einstellt. Zur Fixirung dieses Ortes verfährt man, wie folgt:

Man wird ohne Mühe eine ungefähr verticale Richtung finden, in der man den zu untersuchenden Körpertheil ganz nahe an dem Ende der Nadel vorbei bewegen kann, während die Nadel eine grössere Strecke hindurch immer senkrecht auf die Hautoberfläche weist. Der Weg, den dieses Ende der Nadel gegenüber der Epidermis gemacht hat, wird auf ihr mit einem feinen Tintenstrich bezeichnet; es wäre dieser Weg die Linie *a b* Fig. 37. Nun dreht man den Körper wennmöglich um 90° gegen die Nadel herum und bestimmt auf dieselbe Weise durch sehr langsames Auf- und Abbewegen einen neuen Weg *c d*, der den ersten nahezu senkrecht schneiden wird. Senkrecht unter dem Schnittpunkte *x* beider Curven liegt der eine magnetische Pol des Fremdkörpers. Dieser Punct wird mit Lapis fixirt, und bei der Operation hat hier der Einschnitt zu erfolgen.

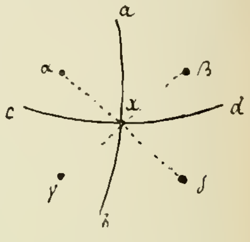


Fig. 37.

Es ist vielleicht ganz zweckmässig, den Punct *x* ausserdem durch vier entfernt liegende Lapispuncte in der Weise, wie dies in Fig. 37 durch $\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta$ angedeutet ist, anzumerken, damit auch nach erfolgtem Einschnitte eine Ortsbezeichnung für den Punct *x* verbleibt.

In nicht seltenen Fällen gelingt es, die Tiefe des Poles unter der Haut zu schätzen, wenn man nämlich darauf achtet, gegen welchen innerlichen Punct die Nadel hinzeigt, wenn man das Untersuchungsobject in horizontaler Richtung langsam an dem Pol der Nadel über dem Punct *x* vorüberführt. Figur 38 soll dies versinnbildlichen. *H* ist die Hautoberfläche, *x* der gesuchte Ort, *a b c d e* sind verschiedene Stellungen der Nadel. *P* wird der Ort des Poles vom Fremdkörper sein.

Fig. 38.

Es lässt sich leicht der Fall denken, dass man an der Hautoberfläche zwei (oder sogar mehrere) solcher Puncte *x* finden kann. Gegen den einen wird der Pol *n*, gegen den anderen der Pol *s* der Nadel senkrecht stehen. Die Verbindungslinie beider Puncte ergibt dann die Richtung der Längsausdehnung

des Fremdkörpers und damit einen neuen Anhaltspunct für die Lage z. B. einer eingestossenen Nähnadel.

Findet man mehrere solcher Puncte, so ist es zweckmässig, da einzuschneiden, wo die magnetischen Anzeigen sich am kräftigsten ausdrücken, denn dort ist der Fremdkörper natürlich am nächsten zu erreichen. Sind jedoch die Anzeigen der astatischen Nadel nicht sehr bestimmt und unzweifelhaft, dann führt das Lamont'sche Magnetoskop mit grosser Sicherheit zum Ziele.

83. Ortsbestimmung mit dem Lamont'schen Magnetoskope. Zur Erläuterung dieser Methode nehme ich einen Fall aus der Praxis: Ein Bauarbeiter hatte sich beim Anziehen eines neuen Hemdes eine Nähnadel, welche noch darin stak, eingestossen. Zwei Jahre später traten berufsstörende Schmerzen ein. Die Nadel wurde im Oberarm bestimmt und gefunden. Operateur: Herr Geheim-Rath Dr. v. Nussbaum. — Eine Reihe solcher Bestimmungen habe ich gemeinschaftlich mit Hrn. Dr. Brunner, Oberarzt a. Krankenhause München l/I., gemacht, welchem ich die Veranlassung zu diesen Untersuchungen verdanke.

Nachdem, wie in früheren Zeilen schon beschrieben, der wahrscheinliche Ort der grössten magnetischen Wirkung bestimmt ist, wird auf die ihn umgebende Fläche mit feinen Tintenstrichen ein Coordinatennetz verzeichnet aus Linien, welche etwa 15 mm von einander abstehen und sich gegenseitig senkrecht durchschneiden, wie dies in Fig. 39 angegeben ist. In dieser Abbildung bezeichnet *A* den Ort, an welchem man die grösste magnetische Wirkung bemerkt hatte; die Parallellinien *a b c d e*, sowie 1 2 3 4 5 bilden das Coordinatennetz.

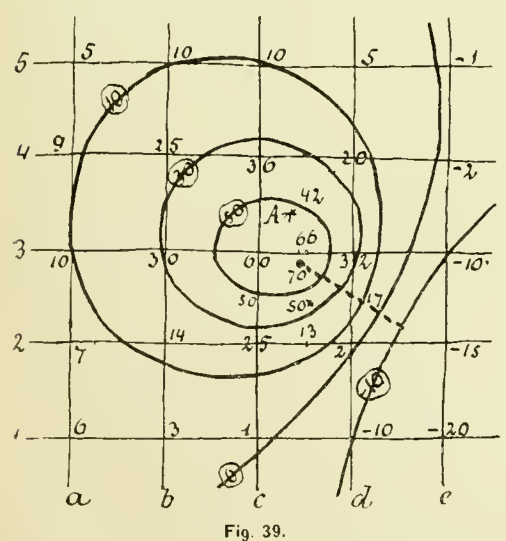


Fig. 39.

Dieses Netz wird in gleicher Lage und mit gleicher Bezifferung stark vergrössert auch auf ein Blatt Papier skizzirt. Hierauf bringt man alle Coordinatenschnittpuncte der Reihe nach mit der Spitze *p*

des Magnetoskopes in Berührung, beobachtet dabei im Fernrohre diejenigen Puncte der Scala, an denen das Fadenkreuz bei der Ablenkung der Nadel *ns* zur Ruhe kommt und hat so für jeden dieser Puncte ein Maass für die daselbst herrschende magnetische Kraft. Die Ausschläge werden in der Skizze an den bezüglichen Puncten sofort eingetragen, z. B. in *a*/3 10, in *c*/3 60, in *e*/3 — 10 etc. Meistens wird es noch nothwendig sein, dass man in der Gegend der grössten magnetischen Wirkung noch mehrere Puncte für die Untersuchung wählt, z. B. die Mitten der Coordinatenabschnitte, deren Intensitäten mit 66, 17, 13, 50 gefunden wurden, ferner die Mitten der Felder (50, 42); endlich wird es nach solcher Untersuchung leicht, auch den wahren Ort für die grösste magnetische Wirkung (70) anzugeben. Der Gehilfe, der während der Untersuchung assistirt, muss natürlich sorgfältig darauf achten, dass die Spitze *p* (Fig. 36) die Haut überall ganz gleichartig berührt und dass auch keine Verschiebungen von Muskeln stattfinden. Man wird dann, wenn man denselben Punct mehrmals untersucht, immer nahezu den gleichen Ausschlag für denselben ablesen können. Mit einiger Uebung bringt man dies fertig. Man darf aber auch nicht zu peinlich sein: kleine Differenzen verändern das Bild der Erscheinung nicht wesentlich.

Nun versucht man, in der Skizze die Puncte gleicher Intensitäten durch Curven zu verbinden. Ich habe in der Figur die Curven für die Puncte 50, 30, 10, 0 und — 10 eingezeichnet. Aus ihrem Verlauf ergibt sich sofort, dass der Fremdkörper seinen Pol unter dem Puncte 70 hatte. Ferner: dass dieser Punct der der Nähnadel zunächst gelegene sein muss. Die Curven liegen in der Figur rechts abwärts vom Puncte 70 am nächsten an einander, und in dieser Richtung wechselt auch örtlich am nächsten das Vorzeichen: also muss die Nadel in der Richtung der punctirten Linie liegen. Ich untersuchte auch die Rückseite des Armes und fand sehr schwache magnetische Erscheinungen (Maximum 7); daraus war zu folgern, dass die Nadel nicht sehr tief liegen konnte; gegenüber der Dicke *d* des Armes wird man keinen zu grossen Fehler machen, wenn man die Entfernung des hauptsächlichen Poles zu $d \times \frac{\sqrt{70}}{\sqrt{7}}$ prophezeit, da die magnetischen Kräfte umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung sind. Punct 70 wurde mit Lapis fixirt und die Nadel am bezeichneten Orte gefunden.

Zum Schlusse rathe ich Jedem, der zum erstenmale diese Untersuchungsweise verwenden will, eine Vorübung an einem etwa 2 cm dicken Brettchen vorzunehmen, in dessen Rückseite man ein etwa 8 mm langes Nähnadelstück schief eintreibt.

Einwirkung des Stromes auf die Magnetnadel. Galvanometer.

84. Wenn man einen Leitungsdraht, der vom galvanischen Strome durchflossen wird, in die Nähe einer Magnetnadel bringt, so bemerkt man eine Kraftäusserung von Seite des Stromes auf die Pole der Nadel. Aus practischen Gründen gibt man gewöhnlich dem Drahte eine kreisförmige Gestalt (*abcd* Fig. 40) in einer oder mehreren Windungen und stellt die Nadel so auf, dass ihr Drehpunct *f* möglichst nahe dem Mittelpuncte der Kreiswindungen steht. Wäre die Magnetnadel der Richtkraft der Erde entzogen, so würde sie sich unter dem Einflusse des Stromes senkrecht zur Kreisebene *abcd* stellen, wie dies durch $n_1 s_1$ angegeben ist. Hat der Strom die durch den Pfeil angegebene Richtung und denken wir uns mit demselben schwimmend, das Gesicht der Nadel zugewendet, so wird der Nordpol nach links, der Südpol nach rechts herausgetrieben. (Vergleiche 67.)

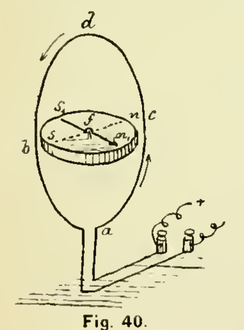


Fig. 40.

Nun wird aber die Magnetnadel nicht nur vom Strome, sondern auch vom Erdmagnetismus beeinflusst, und so kommt bei einem solchen Versuche die Magnetnadel nach einigen Schwingungen in einer Stellung zur Ruhe, die von dem gleichzeitigen Zusammenwirken beider Kräfte herrührt. Eine Zusammenstellung von Leitungsdrähten und einer Magnetnadel in einem Instrumente zu dem Zweck, dass der durchströmte Draht die Nadel ablenke, heisst Galvanoskop oder Galvanometer: Galvanoskop, wenn blos der Zweck erreicht werden soll, aus der Ablenkung der Nadel zu ersehen, ob überhaupt der Draht durchströmt werde — Galvanometer, wenn das Instrument gestattet, aus dem Betrage dieser Ablenkung einen Schluss auf die Stromstärke zu ziehen.

Um den physikalischen Vorgang in einem Galvanometer zu studiren, nehmen wir Fig. 41 zu Hilfe. In perspectivischer Ansicht stelle *abcd* eine kreisförmige Drahtwindung dar. Ihre Ebene wird, um regelmässige und rechnerisch einfache Zustände zu erhalten,

immer parallel zur magnetischen Nord-Süd-Richtung, die der Pfeil *NS* andeutet, gelegt. Ohne Strom stellt sich die Nadel in die Lage *ns* parallel zur Ebene *abcd*. Leitet man Strom ein, so tritt die Nadel aus dieser Richtung heraus. Die beiden

85. Pole werden nun (mit oder ohne Strom) unter allen Verhältnissen von Kräften $n_1 e$ und $s_1 e_1$, welche vom Erdmagnetismus herrühren, angegriffen; diese beiden Kräfte sind gleich und constant; ausserdem aber wirken jetzt ablenkend die beiden (gleichen) Kräfte $n_1 g$ und $s_1 g_1$, welche senkrecht auf der Windungsebene stehen und vom galvanischen Strome herrühren. Die Richtung $n_1 s_1$ ist nunmehr jene, wie sie durch die Kräfteparallelogramme $n_1 e l g$ und $s_1 e_1 l_1 g_1$ vorgeschrieben ist. Wenn der Abstand der Magnetnadelpole unter ein Siebentel des Durchmessers der Windungen und die Ablenkungswinkel nicht über sechs Winkelgrade, dann sind die von den Windungen ausgehenden magnetischen Kräfte $n_1 g$ und $s_1 g_1$ proportional zur Stärke des Stromes; als einfache Folgerung ergibt sich, wenn wir den Winkel $n m n_1$ mit α bezeichnen und weil

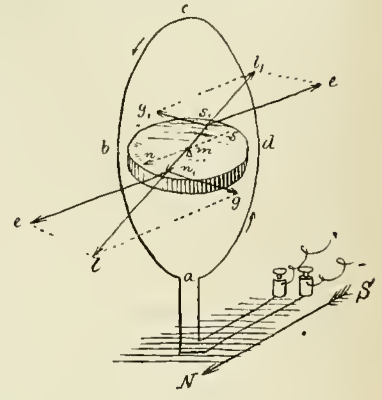


Fig. 41.

$$\frac{\mathrm{el}}{\mathrm{en}_1} = \frac{\mathrm{e}_1 \mathrm{l}_1}{\mathrm{e}_1 \mathrm{s}_1} = \operatorname{tg} \alpha,$$

dass die Stromstärke A proportional zur Tangente des Ablenkungswinkels ist:

$$\mathrm{A} = \mathrm{c} \,.\, \operatorname{tg} \alpha$$

c bedeutet eine (constante) Zahl, die von der Construction des Galvanometers: Durchmesser und Anzahl der Windungen, Abstand des Windungsmittelpuncts vom Drehpunct der Nadel und Nadellänge abhängt, und die man entweder durch Rechnung oder Aichung bestimmen kann.

86. Häufig versieht man die Magnetnadel eines Galvanometers mit der Gauss'schen Spiegelablesung (73) und nennt dann das Instrument zum Unterschiede von dem einfacheren Zeigergalvanometer Spiegelgalvanometer. Bei einem solchen (vergl. Fig. 30) ist der Maassstab senkrecht auf die Verbindungslinie *bc* der Mitte

des Maassstabes M mit der Spiegeldrehaxe zu stellen. Im Dreieck cbd verbleibt also, wenn man das Fernrohr und die Nadel in unveränderter Lage zu einander lässt, die eine Cathete bc von constanter Länge; also ist bei Veränderungen des Winkels cbd die Länge cd proportional der Tangente dieses Winkels und mit grosser Annäherung auch proportional der Tangente der Hälfte desselben, nämlich des Drehwinkels vom Spiegel; folglich sind die Ablesungen am Maassstabe eines Scalenfernrohres, das unverändert auf ein Spiegelgalvanometer gerichtet bleibt, proportional den jeweiligen Stromstärken. —

Bei exacten Messungen von Stromstärken, Widerständen und Spannungen spielt das Spiegelgalvanometer eine hervorragend wichtige Rolle, wesshalb wir an dieser Stelle einige der gebräuchlichsten derartigen Instrumente betrachten wollen.

87. Fig. 42 stellt das kleine Wiedemann'sche Spiegelgalvanometer dar. Die Magnetnadel ist in dem kugelförmigen Gehäuse D, dem sogenannten Dämpfer [1]), der Spiegel in dem Gehäuse F frei beweglich untergebracht. Spiegel S und Nadel ns sind, wie in Fig. 43 dargestellt ist, durch ein Stäbchen l mit einander so in Verbindung, dass dann, wenn die Nadel gedreht wird, sich der Spiegel mitdrehen muss. Das Stäbchen l ist jedoch gegen die Nadel bei a mit Reibung um beliebige horizontale Winkel verstellbar, so dass man die Spiegelfläche nach beliebiger Richtung hinsehen lassen kann, während die Nadel sich natürlich immer in den magnetischen Meridian einstellt. Dies hat zum Zwecke, dass man für das Fernrohr einen

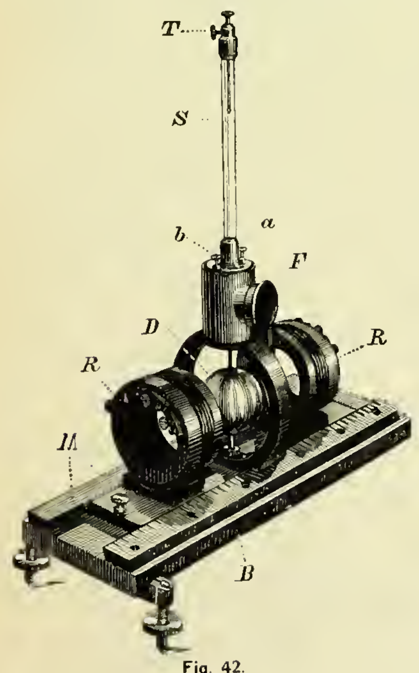


Fig. 42.

[1]) Die hier abgebildete Magnetnadel, nämlich den Siemens'schen Glockenmagnet, und den dazu gehörigen Dämpfer findet man im Kapitel über die Induction beschrieben.

beliebigen Aufstellungsplatz rings um das Galvanometer wählen kann, wesswegen auch die Spiegelkapsel *F*, welche ein Fenster aus Planparallelglas zur Durchsicht auf den Spiegel besitzt, ringsherum drehbar ist.

88. Das Stäbchen *l* gabelt sich oben in zwei Häkchen, die in zwei Löchern des Spiegels eingehängt werden. In ein drittes Loch, das ebenfalls in den Spiegel eingebohrt ist, greift eine aus Aluminiumdraht gebogene Schlinge ein, die an einem Coconfaden *c* angebunden ist.

Der Coconfaden hängt innerhalb der Röhre *S* (Fig. 31) an einem Hakenstifte (Suspensionsstift genannt), der oben bei *F* festgeklemmt, hoch und niedrig gestellt werden kann. Auf die Magnetnadel wirken die beiden Drahtrollen *R* ein, in welche vermittelst Klemmschrauben der zu untersuchende Strom zugeführt wird. Die Rollen *R* können entlang eines Maassstabes in beliebiger Entfernung von der Nadel verschoben werden; je näher sie derselben stehen, desto grösser wird der Ablenkungswinkel für den gleichen Strom. Auf dem Fussbrett *B* mit Stellschrauben ruht das Ganze.

Fig. 43.

Jedem solchen Galvanometer sind mehrere Rollenpaare beigegeben, die man je nach Bedarf auf das Galvanometer setzt: Rollen mit kleinem Widerstande, bestehend aus einigen hundert Windungen dicken Drahtes für starke Ströme, thermo-elektrische Messungen u. dergl. — Rollen mit grossem Widerstande bis zu vielen Tausenden von Windungen feinen Drahtes für Spannungsmessungen, Untersuchungen von Muskel- und Nervenströmen u. s. w.

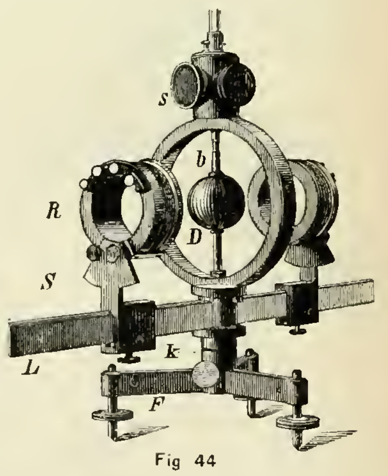


Fig 44

89. In Fig. 44 ist das grosse Wiedemann'sche Spiegelgalvanometer dargestellt. Das Instrument ist im Prinzipe dem vorigen gleich; es ruht jedoch auf einem Messingdreifusse *F* mit Drehzapfen, um es leichter orientiren zu können. Die Rollen *R* sind entlang des Messingprisma *L* verschiebbar, und ihr Abstand an einer darauf getheilten Millimetertheilung genau bestimmbar. Die Spiegelkapsel *S*

hat zwei Fenster, um die Bewegungen des Spiegels nicht nur vermittelst Scalenfernrohr dem Einzelnen zur Beobachtung zu bringen, sondern um dieselben auch durch die sog. Objectivprojection vielen Personen gleichzeitig zeigen zu können: man wirft durch das kleinere Fenster auf den unter 45° gegen beide Fenster gestellten Spiegel einen kräftigen Lichtstrahl, der durch das zweite Fenster hindurch auf eine weisse Wand, einen Schirm aus Papier oder Gewebe reflectirt und hier allgemein sichtbar wird.

In Fig. 45 habe ich endlich mein Fernrohrgalvanometer dargestellt, in welchem auf demselben Gestelle die Spiegelbussole *D* 90.

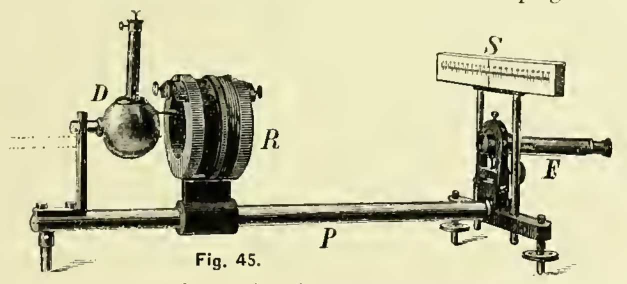


Fig. 45.

mit Fadensuspension, das Ablesefernrohr *F* mit dem nöthigen Correctionsmechanismus und der zugehörige Maassstab *S* mit seinen Verstellbarkeiten in unveränderlicher Entfernung von einander aufgebaut sind. Die Drahtrolle *R* (dick- und dünndrähtig) wird entlang der Führungsstange *P* festgeschraubt; der Spiegel ist an der Magnetnadel selbst unveränderlich befestigt. Dieses Instrument eignet sich, auf ein festes Consol gestellt, wegen seiner Unveränderlichkeit besonders als Normalinstrument für Aichung und Controle anderer Galvanometer, wozu es seit vielen Jahren in meinem und auch einigen anderen Laboratorien ausschliesslich benützt wird. Durch passendes Entfernen der Rolle *R* (100 Ω Widerstand) von der Bussole *D* und Zuhilfenahme der in 39 bis 45 angegebenen und mehrfach zu wiederholenden voltametrischen Aichungsmethode erreicht man, dass an dem beiderseits von Null (Mitte) in 120 mm getheilten Maassstab *S* dieser ganze Ausschlag genau durch einen 60 Milliampères starken Strom erreicht wird. Man hat dann für jedes Milliampère einen Scalenwerth von 2 mm, welche Empfindlichkeit für die meisten Zwecke vollständig ausreicht, insbesondere da man durch einzuschaltende Zweigwiderstände (50) und Ergänzungswiderstände (60) dem Milliampère des Galvanometers jede erforderliche Bedeutung bezüglich Stromstärke und Spannungsmessung geben kann.

91. Ueber die Aufstellung von Spiegelgalvanometern ist eigentlich wenig Besonderes hier noch zu bemerken. Sie müssen auf erschütterungsfreie Wand-Console, Pfeiler etc. postirt werden: horizontal richtig wegen der Freibeweglichkeit der Nadel, und derart gegen den magnetischen Meridian situirt, dass die Windungsebenen der Rollen parallel zu demselben stehen; das letztere erreicht man zunächst annäherungsweise mit Hilfe einer einfachen Deklinationsnadel auf Spitze, in deren Richtung man nach dem Augenmaasse die Rollenführungen einstellt — dann aber mit der erforderlichen Genauigkeit, wenn man das Galvanometer so lange dreht, bis der nämliche Strom, in beiden Richtungen durch die Rollen geschickt, beiderseits von der Ruhelage gleiche Ausschläge hervorbringt. Alles übrige ist in 73 bereits gesagt.

92. Bezüglich der Theorie der bisher und überhaupt in diesem Buche beschriebenen Galvanometer, welche man ob ihrer Drehung des Zeigers oder Lichtstrahles in einer horizontalen Ebene auch Horizontal-Galvanometer nennt, ist noch das Folgende anzugeben, wobei die Fig. 46 zur Erläuterung dient. In derselben stelle, von oben gesehen, ns eine Magnetnadel dar, welche aus ihrer Ruhelage NS — Stellung durch den Erdmagnetismus allein — durch die Kraft sg abgelenkt ist. Die Länge der Linie sg soll gleichzeitig ein Maass für die Grösse dieser Kraft sein. Ferner sei sh die Grösse der Kraft, welche vom Erdmagnetismus herrührt. Zeichnen wir über diesen beiden Geraden das Rechteck $sgah$, so stellt dieses bekanntlich das Kräfteparallelogramm für sg und sh dar, und die Richtung der Mittelkraft beider, nämlich sa kennzeichnet die Einstellung der Nadel. Nehmen wir nun an — was

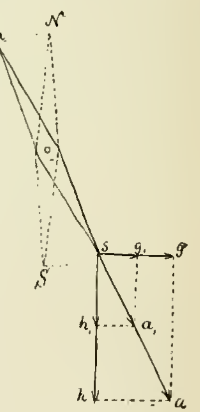


Fig. 46.

für den einen Pol gilt, gilt ebenso auch für den anderen — die Nadel verändere ihren Magnetismus z. B. auf die Hälfte, so geht aus der physikalischen Thatsache, dass jede zwischen zwei Magnetpolen wirkende Kraft proportional sei dem Producte der Magnetismen beider Pole, hervor, dass jetzt auch die beiden Kräfte gh und sh zwischen Nadel und Erde, Nadel und Galvanometerrolle auf die Hälften sh_1 und sg_1 ihrer früheren Werthe schwinden. Das Parallelogramm $sg_1a_1h_1$ zeigt auf den ersten Blick, dass trotz

dieser Veränderung die Richtung von sa_1 die nämliche wie die von sa geblieben ist. Daraus ist nothwendig zu folgern, dass die Stärke des Nadelmagnetismus in einem Horizontalgalvanometer ganz gleichgiltig sei für den Ausschlag durch eine bestimmte Stromstärke, also auch für die Empfindlichkeit und Aichung desselben — eine Thatsache von ausserordentlicher Wichtigkeit gegenüber der notorischen Veränderlichkeit aller Stahlmagnete durch eine Menge uncontrolirbarer Sachen: Wärme, Erschütterungen, fremde magnetische Kräfte, Alter der Magnete etc.

93. Es werden statt der Horizontalgalvanometer manchmal auch die sog. Verticalgalvanometer zur Strommessung verwendet, sogar merkwürdiger Weise hie und da zu empfehlen versucht. Bei diesen Instrumenten werden eine oder zwei zu einem astatischen System (77) verbundene, um eine horizontal gelagerte Drehaxe bewegliche Magnetnadeln durch eine vertical stehende Drahtrolle aus ihrer Ruhelage abgelenkt, wobei die Schwerkraft einerseits und die magnetische Kraft zwischen Nadel und Rolle andererseits die Einstellungen für verschiedene Stromstärken besorgen. Für solche Nadeln gilt selbstverständlich das oben Entwickelte nicht, da die Schwerkraft unabhängig vom Nadelmagnetismus ist. Aus diesem Grunde allein, abgesehen von der Zapfenreibung, Inklinationswirkung der Erde u. s. w. sind solche und auch jedes andere Instrument, in dem die Richtkraft der Erde durch Federn, Hilfsmagnete und dergleichen zu ersetzen gesucht werden, zu Messzwecken in hohem Grade unzuverlässig und unter allen Umständen nur als mehr oder minder schlechte Galvanoskope verwendbar.

94. Indessen ist schon an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass der Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde einen sehr wechselnden Werth besitzt; er wechselt an bewohnten Orten zwischen 1,2 und 3,6 absoluten Einheiten; jedoch ist er für den gleichen Ort nahezu unveränderlich und sein Werth allerorts mit für unsere Zwecke genügender Genauigkeit bekannt, so dass sich an einem beliebigen Orte ein richtig messendes Galvanometer für jeden anderen Ort herstellen lässt. Auch ein für einen bestimmten Ort der Erde geaichtes Galvanometer wird durch eine höchst einfache Rechnung für jeden Ort brauchbar, wie im weiteren Verlaufe unserer Betrachtungen angegeben wird.

95. Frägt man bezüglich der Construction von Galvanometern darnach, in welcher Wechselbeziehung die Durchmesser der Wind-

ungen zu den Kräften stehen, die auf die Pole der Magnetnadel ablenkend wirken, so ergibt die Rechnung und das Experiment, dass bei gleichem Strome dessen ablenkende Kraft um so grösser ist, je kleiner der Durchmesser der Windungen genommen wird. Daraus folgt, dass man die grösstmögliche Empfindlichkeit bei einem Galvanometer oder Galvanoskope erreicht, (was öfters bei den sogenannten Nullmethoden, z. B. der Widerstandsbestimmung mit der Wheatestone'schen Brücke und bei manchen elektrophysiologischen Arbeiten erforderlich ist), wenn man die Windungsdrähte den Polen möglichst nahe bringt. Daraus entspringt noch eine weitere Folgerung: Je kleiner die Windungen sind, desto kürzer ist der für die Windungen verwendete Draht und desto kleiner also auch ihr Widerstand. Eine bestimmte Spannungsdifferenz lässt aber in einer Leitung um so mehr Strom zur Entwickelung kommen, als ihr Widerstand abnimmt. Man ersieht hieraus, dass bezüglich Erreichung grösstmöglicher Empfindlichkeit die Verkleinerung der Windungen von ganz erheblichem Vortheile sein wird. Diese Vorschrift ist in dem Rosenthal'schen Mikrogalvanometer, in welchem jeder Pol der Nadel von Windungen direct umgeben wird, weitestgehend befolgt.

96. Fig. 47 stellt schematisch die Einrichtung dieses Instrumentes dar. *sns* ist eine S förmig gekrümmte Magnetnadel, welche an ihren Enden *ss* nicht zwei ungleiche, sondern zwei gleiche Pole besitzt. In der Mitte hat sie dagegen einen sogenannten magnetischen Folgepunct *n* von einer den anderen Polen entgegengesetzten Polarität. Man erreicht solches dadurch, dass man beim Magnetisiren an den Enden zwei Südpole, in der Mitte einen Nordpol von drei starken Magneten anlegt. Eine solche Nadel wird wie eine astatische Nadel vom Erdmagnetismus fast gar nicht gerichtet, dagegen desto mehr von den Windungen *RR*, welche aus kleinen, mit sehr dünnem Drahte bewickelten Rollen *R* bestehen, die in ihrer Mitte nur so weit freien Raum besitzen, dass die Abkröpfungen der Nadel ungehindert durchschlüpfen können. Geht der Strom in den Rollen im Sinne der beiden unbefiederten Pfeile, dann wird nach Regel 67 die Nadel sich im Sinne des befiederten Pfeiles drehen müssen und umgekehrt. Diese Drehung wird im Spiegel *S*

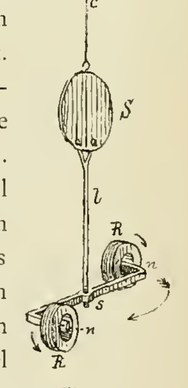


Fig. 47.

durch Scala und Fernrohr beobachtet. Die Empfindlichkeit des Instrumentes (siehe hierüber 63) lässt sich so weit treiben, dass eine Stromstärke von 0,000 000 000 001 Ampère noch bemerkt werden kann, obwohl das Galvanometer nur 250 Ohm Widerstand hat.

In Fig. 48 ist das Bild des Rosenthal'schen Mikrogalvanometers unter Hinweglassung des oberen Theiles der Suspensionsröhre *S* gegeben. *FG* sind zwei Fenster in der Spiegelkapsel für Fernrohrablesung und Objectivprojection. Nadel und Rollen sind in der Büchse *R* untergebracht, welche drehbar eingerichtet und durch Glas *g* abgedeckt ist. Das Rohr *n* schliesst das Verbindungsstäbchen *l* zwischen Spiegel und Nadel in Fig. 47 in sich ein. Das Ganze ruht auf schwerem Marmorfuss *P* mit Stellschrauben.

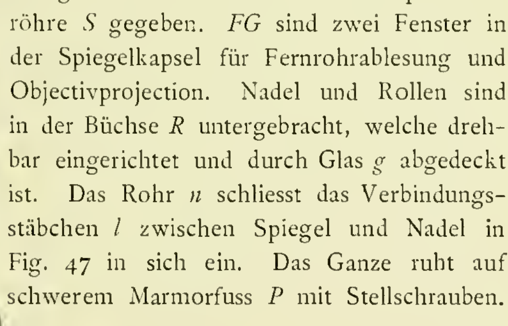


Fig 48

97. Wenn wir eine von Strom durchflossene Drahtrolle untersuchen, so finden wir, dass sie im Stande ist, eine Magnetnadel an einem Ende anzuziehen, am anderen abzustossen, dass Eisenfeilicht an ihr hängen bleibt — dass sie sich überhaupt wie ein Magnet verhält: also kann man, wenn erforderlich, einen Magneten durch eine durchströmte Drahtrolle ersetzen. Dieser Umstand gestattet die Construction eines Strommessers für besondere Zwecke, nämlich des Weber'schen Dynamometers. In diesem ist die Magnetnadel der gewöhnlichen galvanometrischen Instrumente durch eine Rolle *R* Fig. 49 aus Leitungsdraht ersetzt, welche drehbar aufgehängt ist. Diese Rolle, gewöhnlich klein und aus sehr vielen feinen Windungen gewickelt, ist jedoch nicht an einem Coconfaden aufgehängt, sondern an einem feinen elastischen Draht *d*, der ihr den Strom zuführt.

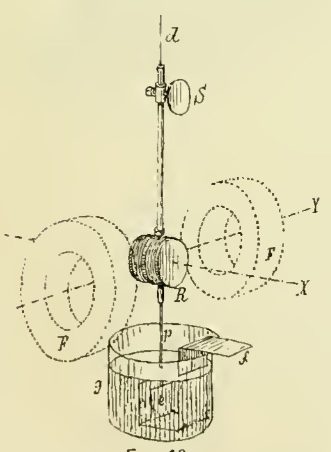


Fig. 49.

Sie ist wie die Nadel eines Spiegelgalvanometers mit einem Spiegel *S*

fest verbunden, dessen Drehungen mit Scala und Fernrohr beobachtet werden. Die Ableitung des Stromes aus der Rolle geschieht durch eine am Platindraht *p* befestigte Elektrode *e* aus Platinblech, die in einem mit Schwefelsäure gefüllten Glasgefässe *g* einer anderen Platinelektrode *f* gegenübersteht. Diese Vorrichtung dämpft zugleich die Schwingungen. Bei manchen Constructionen des Weber'schen Dynamometers — die angegebene Form rührt von Lamont her — besorgt die Ableitung des Stromes ein zweiter Suspensionsdraht. Die feststehenden Rollen sind mit *FF* angedeutet.

Fig. 50 zeigt das Bild eines Dynamometers; es sieht dem kleinen Wiedemann'schen Galvanometer Fig. 42 sehr ähnlich. Die bewegliche Rolle ist in der hohlen Holzkugel *r* eingeschlossen. Der Aufhängedraht ist am Suspensionskopfe *S* (mit mikrometrischer Drehungsvorrichtung versehen) befestigt. Der Spiegel ist hinter dem Fenster *f*; das Glas mit Schwefelsäure und den beiden Platinelektroden ist links vom Buchstaben *m* sichtbar. Die festen Rollen sind wegen Modification der Empfindlichkeit längs Schlitten verstellbar.

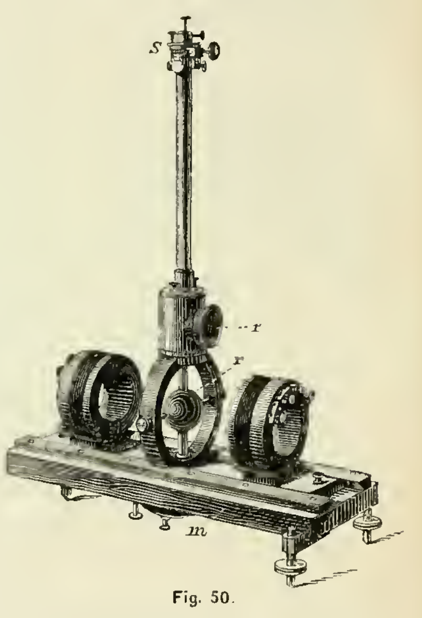


Fig. 50.

Lässt man bei einem Weber-schen Dynamometer die bewegliche Rolle (Nadelrolle) stets von dem gleichen Strom durchflossen werden, so sind die Ablesungen an den Scalen proportional den Stromstärken in den festen Rollen; ebenso auch, wenn die Stromstärke in den festen Rollen constant erhalten wird, und in den Nadelrollen variirt; schickt man aber, was wohl immer geschieht, denselben Strom durch die bewegliche und die festen Rollen hinter einander, dann ist die natürliche Folge, dass die Stromstärken pro-
98. portional sind dem Quadrate der Ausschläge: entspricht z. B. dem Strom von 1 MA ein Scalenausschlag von 10 mm, so machen 2 MA schon 40 mm, 3 MA 90 mm Ausschlag u. s. w. Liest man also an der Scala Zahlenwerthe ab, dann hat man mit

deren Quadratwurzeln in Bezug auf die Stromstärken zu rechnen. Unter dieser Rücksicht hat man auch die Aichung des Dynamometers durch ein gewöhnliches Galvanometer oder ein Kupfervoltameter vorzunehmen.

99. Das Dynamometer hat, wenn die bewegliche und die festen Rollen von demselben Strome durchflossen werden, noch eine weitere besondere Eigenschaft, durch welche es sich vom Galvanometer mit Magnetnadel wesentlich unterscheidet. Denken wir uns einen Strom durch dasselbe gehend, so erhalten wir einen Ausschlag nach einer bestimmten Richtung. Nun commutiren wir den Strom. Dadurch wechselt in allen Rollen die Polarität, und es ist leicht einzusehen, dass wir trotz der entgegengesetzten Stromrichtung doch denselben Ausschlag in der gleichen Scalenrichtung erhalten. Es ist also das Dynamometer auch empfindlich für rasch alternirende Ströme (Wechselströme), wie sie z. B. aus der secundären Rolle der Inductionsapparate kommen und welche so oft ihre Richtung ändern, als der schwingende Unterbrecher der primären Rolle einen Contact und eine Unterbrechung hervorbringt. Für alternirende Ströme ist das Galvanometer unempfindlich, weil die eine Stromesrichtung die ablenkende Wirkung der vorhergehenden annullirt. Man bemerkt hier blos ein Zittern der Magnetnadel oder ganz confuse Bewegungen derselben.

100. Das Dynamometer ist richtig aufgestellt, wenn die Nadelrolle vollkommen frei beweglich, mit ihrer Axe X Fig. 49 senkrecht zur Axe Y der festen Rollen ist und wenn beim Durchleiten eines Wechselstromes durch alle Rollen hintereinander und Commutiren desselben in der beweglichen Rolle (oder in den festen — nicht in beiden gleichzeitig!) beiderseits der Ruhelage gleiche Ausschläge kommen.

Das Quadrantenelektrometer.

101. Zu dem Galvanometer und dem Dynamometer kommt noch ein drittes Messinstrument hinzu, das nicht minder wichtig ist, als diese beiden, nämlich das Quadrantenelektrometer. Dasselbe dient zur Messung von Spannungsdifferenzen, ohne dabei das Zustandekommen eines Stromes zu erfordern, wie es bei dem als Spannungsmesser (Voltmeter) verwendeten Galvanometer (60) erforderlich ist. Bei diesem Instrumente werden zur Hervorbringung der Drehungen, durch deren Winkelbetrag die Messung auch hier zu Stande kommt,

die anziehenden und abstossenden Kräfte benützt, welche gleich und entgegengesetzt elektrisirte Körper (s) auf einander ausüben.

In der medizinisch-elektrischen Wissenschaft wird dieses Instrument, wie mir scheint, bis jetzt sehr selten angewendet, obwohl durch dasselbe z. B. in Bezug auf die Elektricitätsentwickelung organisirter Körper sicherlich noch manches Entscheidende und Interessante zu holen wäre. Ich habe dasselbe zur absoluten Aichung der Apparate für Erzeugung der faradischen Ströme benützen müssen, wesshalb ich es an dieser Stelle nicht weniger berücksichtigen darf, als andere in unser Fach einschlägige Messinstrumente der allgemeinen Elektrotechnik. Vor Allem aber sei hier erwähnt, dass das Arbeiten mit diesem Instrumente keine ganz leichte Sache ist; es wird viel Geschicklichkeit und Geduld erfordert, um es aufstellen und behandeln zu lernen und zu können. Wenn das Quadrantenelektrometer das vorzügliche Messinstrument sein soll, das es unter den Händen eines gewandten Experimentators factisch ist, dann muss dasselbe einer fortwährenden Controle seiner Isolation und Constanten unterworfen sein, wie dies überhaupt bei allen physikalischen Apparaten, die mit der statischen Elektricität zu schaffen haben, bekanntlich nothwendig ist.

102. Die Mechanik des Instrumentes betreffend, besteht dasselbe zunächst aus einem vertical stehenden Messingcylinder, der durch vier in Entfernungen von je 90 Grad geführte Schnitte in die Theile (Quadranten) *iklm* zerfällt. Fig. 51 zeigt eine schematische Skizze in der Ansicht axial von unten gesehen, Fig. 52 eine perspectivische Ansicht schief von unten her. Diese vier Theile sind an der oberen Stirnseite, wo Flanschen angesetzt sind, durch den Hartgummiring *R*, an welchen sie sich mittelst Befestigungsschrauben anfügen, wieder zu einem viermal durchbrochenen Cylinder vereinigt.

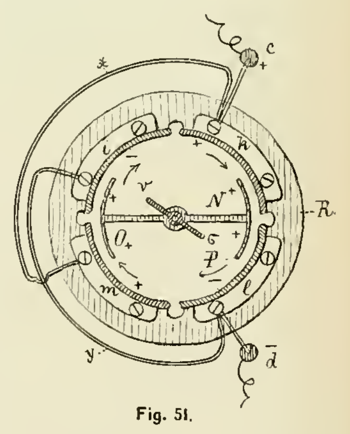


Fig. 51.

Die einander gegenüberliegenden Cylindermantel-Stücke *i* und *l*, *k* und *m* sind vermittelst der Drähte *x* und *y* unter sich leitend verbunden; ebenso jedes dieser Paare mit einer der Klemmschrauben *c* und *d*. Der Hartgummiring *R*, sowie die Hartgummistöpsel $\alpha\beta$,

die in der Messingplatte *t* Fig. 53 stecken, isoliren die Quadranten vollkommen von den übrigen Apparattheilen. Durch die Klemmschrauben *c* und *d* kann man den Quadrantenpaaren die zu messende Elektricität durch eingeschraubte Leitungsdrähte zuführen.

Im Innern des soeben beschriebenen Hohlcylinders *iklm* hängt an einem einfachen Coconfaden *B* die in Fig. 51 schematisch, in Fig. 52 aus dem Innern des Cylinders der Sichtbarkeit halber herabgesenkte und ebenfalls in perspectivischer Ansicht (von oben) gezeichnete Nadel *N*. Dieselbe besteht aus: dem Spiegel *b*, dem (wie bei meinen Spiegelgalvanometern) mit zwei Einhängehaken versehenen Aluminiumverbindungsstück *u*, einer kleinen verdrehbaren Magnetnadel *νσ*, durch welche das ganze System Directionskraft gewinnt, und hauptsächlich aus den beiden durch das (leitende) Querstück *o* verbundenen Cylinderflächentheilen *OP* aus Aluminium. *O* und *P* liegen, wie aus Fig. 51 ersichtlich ist, concentrisch mit den Quadranten *iklm* in deren Innerem, wenn das Instrument zusammengestellt ist. Der Cylinder, aus dem sie herausgeschnitten zu denken sind, ist etwas kleiner im Durchmesser, als der, welchem die Quadranten angehören.

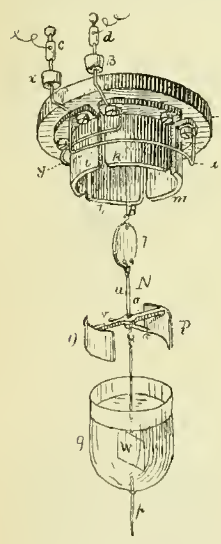


Fig. 52.

Unten an der Nadel hängt ein Platinfähnchen *w*, das in Schwefelsäure taucht; dieselbe befindet sich in einem Glasgefässe *g*, das durch die Säulen *hs* (Fig. 53) getragen wird und in einem Hartgummiring *q* dazwischen aufgehängt ist. Durch den im Glasgefässe *g* eingeschmelzten Platindraht *p*, an welchem man den einen Pol einer vielpaarigen galvanischen Batterie[1]) — der andere Pol dieser Batterie wird zur Erde abgeleitet — anlegt, lädt man durch die Schwefelsäure hindurch die Nadel. Leitet man beide Quadrantenpaare gegen die Erde ab, oder bringt man überhaupt beide auf gleiches Potential, so bleibt die Nadel in ihrer zu den Quadranten symmetrisch gelegenen Nullstellung stehen, welche ihr durch die

[1]) Eine solche sog. Ladungsbatterie (Fig. 54) wird aus je 200 zusammengelötheten Kupfer- und Zinkdrähten *kz* gebildet, die in chemische Reagenz-

kleine Magnetnadel *vσ* vorgeschrieben wird. Leitet man dagegen ein Quadrantenpaar zur Erde ab und führt dem anderen Paare Elektricität zu — oder bringt man überhaupt die beiden Sectorenpaare auf ungleiches Potential, so dreht sich die Nadel, entsprechend den zwischen der Elektricität der Nadel und jener der Quadrantenpaare nunmehr auftretenden Kräften. In Fig. 51 ist eine solche Polarität durch die Zeichen + und —, die entsprechende Drehungsrichtung der Nadel durch die Pfeile angegeben. Die Nadel nimmt jetzt eine neue Stellung ein, welche am Spiegel der Nadel vermittelst Scala und Fernrohr abgelesen wird.

In Fig. 53 ist eine perspectivische Ansicht des ganzen Instrumentes gezeichnet: Der Coconfaden, der die Nadel trägt, ist oben in dem Suspensionskopfe *S* eingehängt. Von hier ab nach abwärts erblickt man die Suspensionsröhre, welche den Coconfaden umschliesst und vermittelst der Schrauben *a a* in das Spiegelgehäuse befestigt ist. Dieses besitzt das Fenster *f* für die Durchsicht zum Spiegel. Diese Theile, sowie die Quadranten sind auf und unter einer grossen runden Messingplatte *t* angebracht, welche sich in dem Ringe *r* (mit drei Stellschrauben *n* versehen) drehen lässt. Das Ganze steht auf einem durchbrochenen Zinkconsol *C*, das in eine Zimmerwand eingegipst werden muss. Von unten her schliesst ein mit Bayonettschluss angefügter punctirt gezeichneter Glassturz die Quadranten und das Schwefelsäuregefäss *g*

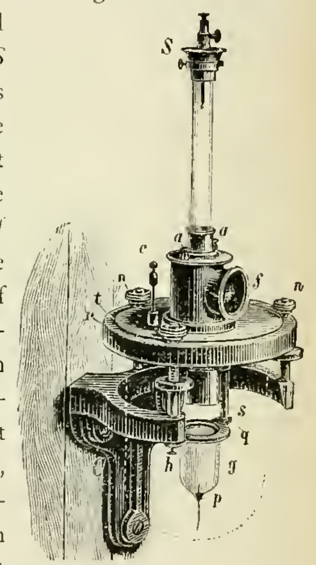


Fig. 53.

---

röhrchen *r*, halb mit Brunnenwasser gefüllt, tauchen. Durch dazwischen gesetzte Glasstreifen *g*, welche man auch noch mit geschmolzenem Paraffin der besseren Isolirung wegen anstreichen kann, werden die Glasröhrchen *r* in der erforderlichen Stellung erhalten. Das Ganze steht auf einer paraffinirten Glasplatte *p* und dem Fussbrette *F*.

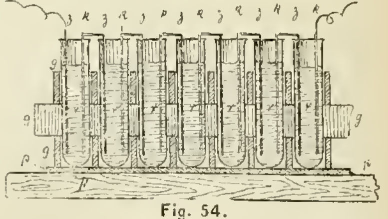


Fig. 54.

gegen Luftzutritt ab; es ragt aus dem Glassturz unten nur der Zuleitungsdraht *p* hervor.

Die in das Glasgefäss *g* gegebene Schwefelsäure dient ausser zur Leitung für die Nadel noch zur Dämpfung ihrer Schwingungen und zur Absorption aller Feuchtigkeit im Innern des Instrumentes. Sie muss chemisch rein sein und öfters erneuert werden, hauptsächlich dann, wenn man Unregelmässigkeiten in der Bewegung oder schlechte Rückkehr in die Ruhelage der Nadel bemerkt; dieses rührt von einem eigenthümlichen Zustande der Schwefelsäure her, die sie bei einem gewissen Wassergehalte annimmt, in welchem sie Syrupconsistenz annimmt und »Faden zieht«.

Aufstellung des Quadrantenelektrometers. Ich **103** habe diese Beschreibung hier für solche eingefügt, welche das Instrument vor sich haben und mit demselben zu arbeiten beginnen wollen. — Nachdem das dem Instrumente beigegebene Wandconsol vermittelst in die Wand eingegipster Holzdübel und einiger Messingschrauben ungefähr in Schulterhöhe gut befestigt worden, nimmt man vom Elektrometer den Glassturz, das Schwefelsäuregefäss *g* und die Suspensionsröhre ab, und stellt den Rest des Instrumentes, bestehend aus dem Fussringe *r*, dem elektrometrischen Cylinder *s* und dem Spiegelgehäuse *f* auf das Consol. Nun bindet man einen Coconfaden von solcher Länge an den Suspensionsstift, dass die Nadel, in einem am unteren Ende des Fadens einzubindenden *s*-förmigen Drahthäkchen hängend, noch ganz ausserhalb, resp. unter den Quadranten schwingen würde, wenn der Suspensionsstift im Kopfe *S* ganz herabgelassen wird. Hierauf setzt man die Suspensionsröhre auf's Instrument und lässt den Coconfaden durch ein der Schwere der Nadel gleiches beigegebenes Gewichtchen austordiren. Nun dreht man die Platte *l* mit dem Spiegelgehäuse so weit herum, dass das Fenster dem beabsichtigten Orte des Fernrohres gegenüber zu liegen kommt. Ferner dreht man den Doppelhaken in der Nadel so, dass nach dem Augenmaasse möglichst genau der Spiegel parallel wird zur Symmetrieebene der Nadel. Dies ist zur leichteren Orientirung der Nadel nothwendig, da von der Werkstätte aus die Ebene des Fensters *f* zu einer der Schnittebenen der Quadranten parallel gemacht ist.

Hierauf wird die Nadel an das unten hervorhängende Drahthäkchen eingehangen und zunächst das an ihr befindliche Magnetstäbchen $\nu\sigma$ so gedreht, dass der Spiegel der Nadel, wenn das

Magnetstäbchen im magnetischen Meridian steht, ebenfalls gegen den Ort des Ablesefernrohrs gewendet ist, was man nach dem Beruhigen der Nadel mit einem Hilfsmagneten durch Betrachten der Spiegelbilder des hineinblickenden Auges sehr wohl beurtheilen kann.

Hat man dies erreicht, dann wird durch Hochziehen und Befestigen des Suspensionsstiftes in *S* die Nadel so weit in die Höhe versetzt, bis die Cylinderflächen *OP* der Nadel sich mitten innerhalb des Quadrantencylinders befinden, worauf man durch die drei Fussschrauben und vermittelst einer Libelle, die man in zwei zueinander senkrechte Stellungen auf die Platte *t* setzt, das Instrument vertical stellt.

Nun centrirt man mit den drei Centrirungsschrauben des Torsionskopfes *S* die Nadel so gut als möglich und wenigstens so weit, dass sie sich innerhalb des Quadrantencylinders vollkommen frei ringsum drehen kann, was man durch Hinaufsehen in's Instrument von unten beurtheilen kann.

Hierauf füllt man das Gefäss *g* bis 1 cm vom Rande mit chemisch reiner Schwefelsäure, schraubt dasselbe an seinen Platz, befestigt den Glassturz am Instrumente — steckt aber vorher den Hartgummipfropf, dessen Bohrung den Zuleitungsdraht *p* aufnimmt, in das Loch des Glassturzes von innen. Man dreht die Platte *t* im Ringe *R*, dass der Spiegel der Nadel und das Fenster *f* zu einander parallel zu stehen kommen, was man durch Betrachten der beiden Spiegelbilder eines vertical vor dem beobachtenden Auge gehaltenen Stäbchens, eines Papierstreifens oder dergleichen beurtheilt.

Nun wird das Scalenfernrohr vor dem Spiegel in einer beliebigen Entfernung zwischen 1 und 4 Metern aufgestellt und der Nullpunkt der Scala unter das Fadenkreuz des Fernrohrs gebracht; zugleich werden auch die Klemmschrauben *cd* des Instrumentes unter sich und mit der Erde (Gasleitungsrohr etc.) möglichst widerstandslos verbunden.

In zweiter Folge richtet man sich die beigegebene Ladungssäule zurecht, welche man auf einen Tisch unter das Elektrometer stellt; dann verbindet man einen Pol derselben mit dem Platindraht *p* des Elektrometers, den andern mit der Erde. Man benützt zunächst nicht alle 200 Elemente der Batterie, sondern leitet statt des Endes der Batterie vielleicht schon das 30. Element zur Erde ab, damit man die Aufstellung mit kleineren Ladungen der Nadel und also auch geringerer Empfindlichkeit (1 *V* etwa = 10 — 20 mm)

beginnen kann. Erst später, wenn die gröbere Einstellung des Apparates gelungen ist, corrigirt man das Elektrometer für grössere Ladungen der Nadel.

Im Allgemeinen wird jetzt, obwohl beide Quadrantenpaare unter sich und mit der Erde verbunden sind, doch der Spiegel des Elektrometers einen Ausschlag der Nadel aus der Ruhelage heraus anzeigen, der von der mangelhaften Centrirung derselben gegen die Quadranten herrührt. Dieser Ausschlag wird durch Benützung der drei Correctionsschrauben am Torsionskopfe beseitigt.

Man legt jetzt die zu den Messungen nothwendigen Drahtverbindungen — am besten aus blankem, 1 mm dicken, weichen Kupferdrahte — an, die man überall mit Hartgummi, Schellack und übergeschobenen Kautschukröhren vorsichtig zu isoliren hat und in die Klemmen *cd* einfügt. Andererseits endigen sie an dem sog. Quadrantenelektrometer-Schlüssel, der in Fig. 55 dargestellt ist. **104** Derselbe besteht aus einer wohlisolirten Commutatorwippe mit den

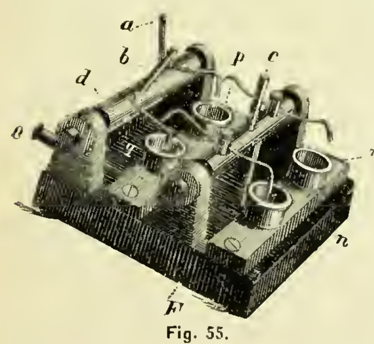


Fig. 55.

Quecksilbernäpfen *mnpq*, in welche 6 Kupferhaken, die an zwei Drehaxen befestigt sind, eintauchen können. Je zwei Haken der vorderen Drehaxe (aus Hartgummi) stehen mit je einer Klemmschraube in Verbindung, in welche die Leitungsdrähte von beiden Polen eines Elementes, einer Batterie (oder später zweier Orte, deren Potentialdifferenz untersucht werden soll) eingeklemmt werden. Man klemmt einen Draht, der vom Elektrometer kommt, unter die beiden Quecksilbernäpfe *mq*, den anderen unter *np*, und kann dann durch Hin- und Herwippen an dem Handgriffe *c* die Ladungen der Quadrantenpaare commutiren.

Die Drehaxe *a* des Schlüssels ist aus Metall und die Haken für *q* und *p* sammt den zugehörigen Handgriffen *a* und *b* sitzen auf zwei Metallrohren, die auf diese Axe aufgeschoben sind, so dass beide Haken unabhängig von einander auf- und abbewegt werden können: es können beide tauchen, beide nicht, oder nur einer, welches letztere die Figur zeigt. Wird vermittelst der Klemmschraube *e* das Metall des Schlüssels zur Erde abgeleitet, so ist, wenn der zu *b* gehörige Haken taucht, das Sectorenpaar, welches

mit *m* und *q* verbunden wurde, zur Erde abgeleitet. Das andere Sectorenpaar, das mit *pn* in Verbindung steht, ist abgeleitet, wenn der zu *a* gehörige Haken taucht. Durch Bewegen der drei Hebel *abc* können alle für elektrometrische Messungen erforderlichen Leitungen hergestellt und geöffnet werden.

105 In der Aufstellung des Quadrantenelektrometers fortfahrend, leiten wir jetzt ein Quadrantenpaar zur Erde ab, dem anderen Paare aber führen wir die Spannung des freien Poles von einem oder mehreren Elementen zu, was mit dem Schlüssel bewerkstelligt wird. Man untersucht zunächst, ob die Ausschläge rechts und links (Verwechseln der Pole der Säule durch Umkippen des Commutators im Elektrometerschlüssel) gleich sind; sollte dies nicht der Fall sein, dann stimmt die Schnittebene der Quadranten nicht genau mit der Symmetrie-Ebene der Nadel, was man durch Drehen der Platte *t* im Ringe *r* corrigirt.

Wenn das Quadrantenelektrometer vollkommen richtig aufgestellt ist, muss folgendes stattfinden:

1. Die Ruhelage der Nadel darf sich nicht ändern, wenn bei abgeleiteten Quadranten die Nadel elektrisch ist oder nicht. Zu corrigiren mit der Centrirungsschraube am Torsionskopf, der letzte Rest des Fehlers wohl auch vermittelst der Fussschrauben im Ringe *R*.

2. Die Nadel muss von der Ruhelage aus die gleichen Ausschläge zeigen, wenn man das eine oder andere Quadrantenpaar lädt, und dabei entsprechend das nicht geladene Quadrantenpaar zur Erde ableitet.

3. Die Ausschläge müssen rechts und links gleich sein, wenn man die Polarität des nämlichen Quadrantenpaares ändert. Letztere beide Bedingungen corrigirt man durch Drehen des Quadrantencylinders.

106 Die Aichung des Quadrantenelektrometers, resp. die Bestimmung der Ausschlagswerthe nimmt man am besten mit einer Apparatenzusammenstellung vor, die der in Fig. 24 angedeuteten dem Sinne nach gleichkommt. Nur handelt es sich hier um die Herstellung grösserer Potentialdifferenzen, wesshalb man an Stelle des Messdrahtes einen Rheostaten treten lässt, wie in Fig. 56 angegeben wird, welche Darstellung das vollständige Verbindungsschema zum bequemen Arbeiten mit einem Quadrantenelektrometer gibt.

In dieser Figur stellen dar: *E* das Quadrantenelektrometer, *L* die zugehörige Ladungssäule (Wasserbatterie), *M* und *N* zwei

Elektrometerschlüssel, R und S zwei Stöpselrheostate, C eine constante Batterie, G ein absolut geaichtes Galvanometer (das den Strom nach Ampère abzulesen gestattet), und Z eine sichere Erdleitung (Gas- oder Wasserrohr). Man legt nun folgende Drahtverbindungen an, die gewissenhaft isolirt werden müssen: Die beiden Klemmschrauben cd des Elektrometers mit den acht Quecksilbernäpfen der Schlüssel MN; eine Erdschlussaxe der Schlüssel, z. B. von N, und das Ende der Ladungsbatterie mit der Erde, die Ladungsbatterie L mit der Nadel n des Elektrometers; die beiden Klemmen des Messungsschlüssels M mit den beiden Orten AB, deren Spannungsdifferenz bestimmt werden soll; ferner die beiden Klemmen des Controlschlüssels N mit den Klemmen am Rheostaten S. Endlich bildet man den Stromkreis $SRCG$ unter Einschaltung eines gewöhnlichen Stromschlüssels s.

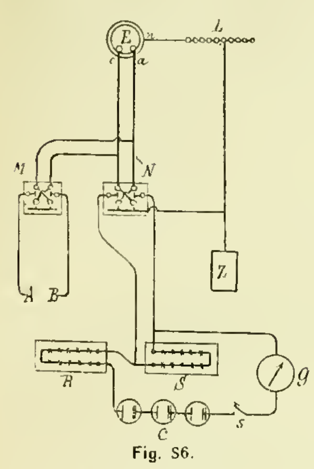


Fig. 86.

Beide Rheostate gehen bis zu 1000 Ohm, der Strom im Galvanometer wird mittelst des Rheostaten R stets auf der Höhe von 1, 10 oder 100 **MA** erhalten, dann liefert der Rheostat S in das Quadrantenelektrometer durch den Schlüssel N hindurch für jedes Ohm, das in ihm als Widerstand eingeschaltet wird, 0,001, 0,01 oder 0,1 Volt, wobei der Schlüssel M ganz offen sein muss.

Ist auf die angegebene Weise der Scalenwerth des Elektrometers bestimmt, dann wird s und die Commutatoraxe von N ganz geöffnet (Erdschlussaxe unverändert zu lassen) und vermittelst des Schlüssels M dem Quadrantenelektrometer jene Spannungsdifferenz zwischen AB zugeführt, die man zu messen hat. Man kann übrigens auch mit nur e i n e m Elektrometerschlüssel arbeiten, muss dann jedoch die Drähte, welche von AB und von RS kommen, im Schlüssel N aus- und einschrauben.

Man kann mit dem Quadrantenelektrometer selbstverständlich **107** auch derart messen, dass man die beiden Klemmen desselben mit der Ladungsbatterie und deren Mitte mit der Erde verbindet; es sind dadurch die Quadrantenpaare ständig etwa gleich stark, aber entgegengesetzt geladen. Dann muss man die Elektrometernadel

mit dem einen Orte, wo die Spannungsdifferenz abgenommen werden soll, verbinden, den anderen Ort zur Erde ableiten. Dieser Methode ist dann der Vorzug zu geben, wenn die Isolation der Quadranten nicht ganz gut sein sollte und wenn man Spannungen messen will, die sich nicht von selbst, z. B. aus Elementen hervorgehend, auf gleichem Werthe erhalten.

Induction. Faradische Ströme. Dämpfung der Magnetnadeln.

108 Wenn man dem Wirkungsbereich eines Magnets, sei dieser ein permanenter Stahlmagnet, ein Elektromagnet, oder auch nur eine vom Strom durchflossene Drahtrolle, einen zweiten in sich geschlossenen Leiter nähert oder ihn davon entfernt, so bemerkt man in diesem Leiter den Verlauf eines Stromes. Auch werden Ströme bemerkt, wenn zwar der Ort der magnetischen Kraftäusserung und der Ort des Leiters dieselben bleiben, aber die Stärke des Magnetismus zu- oder abnimmt. Diese durch magnetische Veränderungen in einem benachbarten Leitungsdrahte oder in einem Leiter überhaupt hervorgebrachten Ströme heissen »Inductionsströme« und für ihren Verlauf gilt rücksichtlich des Zusammenhanges zwischen Stromstärke, Widerstand und elektromotorischer Kraft ebenso das Ohm'sche Gesetz, wie für andere galvanische Ströme, welche ihre Entstehung z. B. einer Batterie verdanken. Die elektromotorische Kraft oder die Spannungsdifferenz, denen jeder Strom nothwendigerweise seine Entstehung verdankt, rühren hier also nicht von einer chemischen Action her, sondern von der in einem Leiter jederzeit stromerzeugenden Wirkung der Werthveränderung eines magnetischen Feldes, in dem der inducirt werdende Leiter sich befindet. Jedoch ist hier vor Allem noch zu bemerken, dass die solche Ströme hervorrufende elektromotorische Kraft nur so lange andauert, wie die Werthänderung des magnetischen Feldes. Verharrt also ein Leitungsdraht unveränderlich in der Nähe eines Magnets, so bemerkt man keinen Strom; nähert oder entfernt man den Magneten, so tritt sofort Strom auf, aber nur so lange, als diese Ortsveränderung andauert. Ebenso dauern auch die Inductionsströme bei unveränderter gegenseitiger Lage nur so lange, als der Vorgang anhält, durch den ein benachbarter Magnet sich in der Zu- oder Abnahme seines Magnetismus befindet. Was die Richtung der Inductionsströme anbetrifft, so gilt als Gesetz, dass deren Verlauf immer so geschieht, als ob sie den

Magneten verhindern wollten, das zu thun, wodurch er den Strom erzeugt; wir wollen dies sofort an einigen Beispielen erläutern.

Denken wir uns einen Stahlmagneten *NS* in einer Drahtrolle *R*, wie Fig. 57 zeigt, nach der Richtung des Pfeiles aus dieser Rolle hervorgezogen, so zeigt ein Galvanometer *G*, das man in den Stromkreis der Rolle versetzt, einen Strom an, so lange diese Verschiebung dauert und zwar von einer Richtung, durch die der Nordpol in die Rolle hineingezogen würde (96); umgekehrt in Fig. 58.

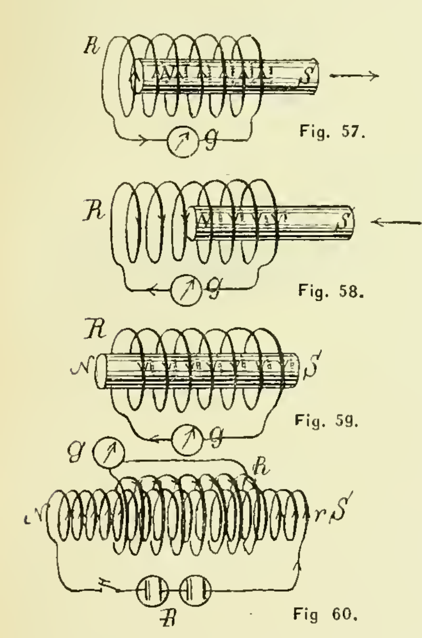


Fig. 57.
Fig. 58.
Fig. 59.
Fig 60.

Denken wir uns ferner in Fig. 59 im Innern der Rolle *R* den Magnet *NS* feststehend, aber in der Stärke seines Magnetismus wachsend, so sucht die Richtung des Inductionsstromes seine Polarität zu vermindern und umgekehrt.

Die Wirkung eines Magneten kann ersetzt werden durch eine vom Strom durchflossene Drahtrolle. Denken wir uns mit Fig. 60 den Magnet der Fig. 59 durch die Rolle *r* ersetzt, welche durch eine Batterie *B* mit Strom versehen werden kann. Schliessen wir den Strom, so entsteht an der Rolle *r* eine magnetische Polarität *NS*, welche durch den entgegengesetzten Verlauf des Inductionsstromes in *R* zu vermindern, resp. umzukehren bestrebt wird. Umgekehrt bei der Stromesöffnung, bei welcher die magnetische Polarität *NS* verschwindet, aber durch den Inductionsstrom in *R* hergestellt werden will.

109 Die Rolle *r* heisst man die primäre (inducirende), *R* die secundäre Rolle (Inductionsrolle). Entsprechend werden auch die in beiden Rollen verlaufenden Ströme primäre und secundäre Ströme genannt. Aus dieser Erklärung ergibt sich die Regel, dass bei der Induction in zwei conaxialen Rollen und bei Stromesöffnung der secundäre Strom gleichgerichtet, beim Stromschlusse entgegengesetzt gerichtet mit dem primären Strome verläuft.

Dass übrigens alle Inductionserscheinungen unter sonst gleichen Umständen um so kräftiger auftreten, je stärker die inducirende Ursache ist, versteht sich von selbst. So wird z. B. der Inductionsstrom in Fig. 60 um so stärker, je stärkere Ströme von der Batterie *B* in die primäre Rolle *r* gelangen, d. h. je stärker der innerhalb der Rolle *r* entstehende und verschwindende Magnetismus wird. Diesen Magnetismus kann man nun bedeutend vermehren, ohne den Strom verstärken zu müssen, wenn man — wie Fig. 61 zeigt — einen weichen Eisenstab in's Innere der Rolle *r* legt. Fig. 61 zeigt den Inductionsvorgang beim Stromschluss. Für unsere Zwecke verwendet man als sogenannten »Kern« in der Rolle statt eines massiven Eisenstabes besser ein Bündel wohlausgeglühter weicher Eisendrähte, die parallel zur Rolle liegen, weil sie sich sehr viel schneller magnetisiren und entmagnetisiren, als ein dichter Eisencylinder, und in ihrem Inneren keine die Inductionserscheinungen störenden Vorgänge auftreten können.

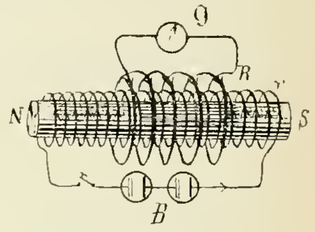


Fig. 61.

Schon bei leerer Rolle *r* wirkt der entstehende und verschwindende Magnetismus nicht nur auf die andere Rolle *R*, sondern auch auf die primäre Rolle *r* selbst zurück (selbstinducirend); dies geschieht umsomehr, wenn man ihre magnetischen Zustände durch einen eingelegten Eisenkern aufbessert. Diese durch Selbstinduction erzeugten Ströme heisst man Extraströme und es lässt sich aus dem vorhin angegebenen Gesetze sofort ableiten, dass der Extrastrom beim Stromschliessen den primären Strom schwächt, dass aber beim Stromöffnen in *r* der Extrastrom sich zu dem Batteriestrom in der primären Rolle zuaddirt. Dadurch ist es zu erklären, dass die Oeffnungsinductionsströme viel stärker sind, als die Schliessungsinductionsströme, und dass auch die physiologische Wirkung des ersteren bedeutend präponderirt.

110 Da man die Inductionsströme der Elektrotherapeuten, d. h. die »faradischen Ströme«, gewöhnlich durch Stromöffnen und Stromschlüsse in einem Fig. 61 entsprechenden Apparate erzeugt — und andererseits der Vorgang des Entstehens und Verschwindens vom primären Strome und dem von demselben herrührenden Magnetismus ein momentaner ist, so ist auch die Zeitdauer der Inductionsströme eine ungemein kurze. Aus Voranstehendem ergibt sich für

den zeitlichen Zusammenhang, die Strom-Stärken und -Richtungen der primären und secundären Ströme das schematische Bild Fig. 62.

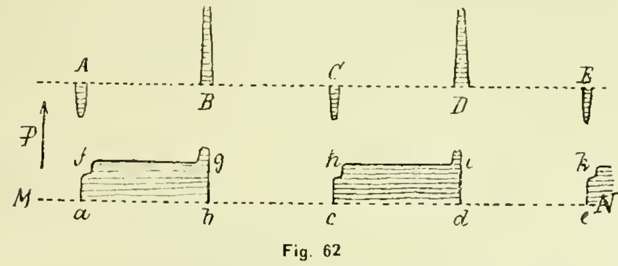


Fig. 62

Denken wir uns einen primären Strom abwechselnd eine Secunde lang geschlossen, dann wieder eine Secunde hindurch geöffnet u. s. w., so entsteht das Bild, wie es über der Geraden *MN* dargestellt ist. Die Entfernungen *ab*, *bc*, *cd*, *de* sollen die Secunden vorstellen, die Abstände *af*, *bg*, *ch* etc. die Stromstärken des primären (Batterie-) Stromes. Im Augenblick des Stromschlusses zu Anfang der Secunde *ab* entsteht der primäre Strom, steigt zum Werthe *af* an, um bei der Stromesöffnung im Momente *b* wieder auf Null herabzusinken. Zu diesem Strome gesellen sich im Momente des Schliessens und Oeffnens die zugehörigen Extraströme des primären Stromkreises, welche im Momente *a* seinen Werth vermindern, im Momente *b* vermehren, wie ich dies anzudeuten versucht habe; ebenso in *h*, *i*, *k* etc. Diese Stromschlüsse und Stromöffnungen erzeugen die Inductions-»Stösse« *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, welche rücksichtlich der Gleichzeitigkeit vertical darüber dargestellt erscheinen; *A*, *C*, *E* sind in ihrer Richtung entgegengesetzt, *B*, *D* gleichgerichtet mit den Strömen *fg*, *hi*. Ihre Stromdauer ist nur so lange, wie die Dauer der Intensitätsveränderungen des primären Stromes. Die Stärke der secundären Ströme entspricht aber den, durch den Einfluss der Extraströme veränderten Stromstärken des primären Stromes in den Augenblicken seines Geschlossen- oder Geöffnetwerdens.

Der Neff'sche Hammer. Gewöhnlich wird von den faradischen Stromimpulsen gefordert, dass sie in rascher Reihenfolge und ohne dass man den primären Strom mit der Hand zu öffnen und zu schliessen braucht, aus dem Inductorium (Name für primäre, secundäre Rolle und Kern zusammen) hervorkommen. Dieses selbstthätige Oeffnen und Schliessen des primären Stromes besorgt der Neff'sche Hammer, an dessen Einrichtung wir uns in den nachstehenden Zeilen und durch das Schema Fig. 63 erinnern. 111

Der Strom aus einer Batterie *B* umkreist einen Elektromagneten *E*, geht von hier aus zu dem festen Block *g*, durch die elastische Feder *f* zu dem Magnetanker *A*; gelangt dann aus der an dem Anker angebrachten stromschliessenden Feder *v* zu der Correctionsschraube *k*. Die Berührungsstellen *pp* von *v* und *k* sind gewöhnlich mit Platin belegt, damit trotz der hier auftretenden, gewöhnliche Metalle rasch zerstörenden elektrischen Funken der Contact längere Zeit sich blank erhalte. Auch Platin muss von Zeit zu Zeit gereinigt, wohl auch erneuert werden. Von hier fliesst der Strom durch den Schlüssel *s* zur Batterie *B* zurück. Die Feder *f* (häufig durch eine correctionsfähige Spiralfeder ersetzt, wobei dann in *g* durch Drehzapfen für die Beweglichkeit des Hebels *A* zu sorgen ist) — also die Feder *f* wird so gestellt, dass bei stromlosem Magnet *E* der Contact *pp* hergestellt ist. Der mit dem Schlüssel *s* geschlossene Strom macht *E* magnetisch; der Anker *A* wird herabgezogen, Contact *pp* geöffnet: der Elektromagnet lässt den Anker wieder zurückfallen, worauf dasselbe Spiel von Neuem beginnt und sich nun so lange andauernd Oscillationen des Ankers *A* ergeben, als der Schlüssel *s* geschlossen bleibt. Durch Veränderung in der Spannung der Feder *f*, durch Begrenzung des Ankerhubes vermittelst der Schraube *k* und durch Verschieben des Gewichts *Q* entlang einer am Hebel befestigten Stange *l* kann die Geschwindigkeit der Unterbrechungsfolge verändert werden.

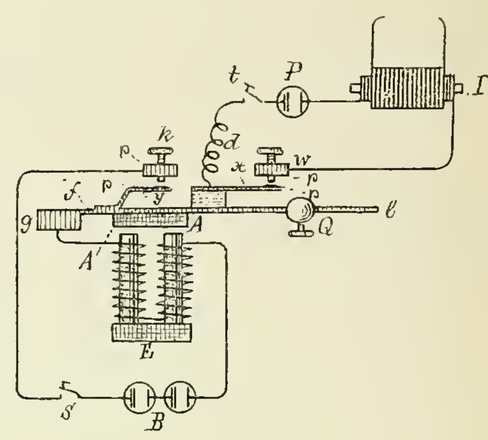


Fig 63

112 Man zählt die Oscillationen practisch am besten durch die hörbare Uebereinstimmung des vom N e f f'schen Hammer ausgehenden Tones oder dessen musikalischem Intervalle mit dem Tone von Stimmgabeln, deren Schwingungszahlen pro Secunde bekannt sind. Jede Octave hat doppelt so viele Schwingungen, als der Grundton, die Terz $^5/_4$, die Quart $^4/_3$, die Quint $^3/_2$ mal mehr. Bei wissenschaftlich exacten Experimenten soll die Angabe bezüglich der Unterbrechungszahl des Hammers pro Secunde nie vergessen werden!

Der den Neff'schen Hammer betreibende Strom wird häufig durch die primäre Spirale der medicinischen Inductionsapparate eingeleitet, und demnach benützt, um durch seinen unterbrochenen (intermittirenden) Verlauf die Entstehung der faradischen (Wechsel- oder alternirenden) Ströme zu veranlassen. Bei absolut geaichten Inductionsapparaten — Faradimeter durch v. Ziemssen benannt — ist dies jedoch nicht statthaft, weil durch die selbstinducirende Wirkung des Elektromagneten *E* (Fig. 63) nicht zu bewältigende Schwierigkeiten für die Aichung auftreten. Ich habe desshalb auf den Ankerhebel *A* einen zweiten Contactmechanismus isolirt aufgesetzt, bestehend aus dem leichtbeweglichen Zuleitungsdraht *d*, der weichen Feder *x* und der Contactschraube *w*. Hiedurch werden die aus der Batterie *P* in die primäre Spirale *I* durch den Schlüssel *t* geleiteten Ströme eben so oft unterbrochen und geschlossen, als der Anker *A* seine ganze Bewegung durch Auf- und Niedergang vollendet. Diese mechanische Vorrichtung sammt dem Neff'schen Hammer wollen wir Doppelunterbrecher nennen. 113

Dämpfung von Galvanometernadeln. Um die für rasche Ablesungen so lästigen und langdauernden Schwingungen einer in Bewegung befindlichen Magnetnadel zu beseitigen, benützt man die Dämpfung; d. h. man richtet die Nadel so ein, dass sie unbeschadet der Richtigkeit ihrer Angaben die, verschiedenen Stromstärken zukommenden Einstellungen nach wenigen, rasch abnehmenden Schwingungen findet. Geschieht der Uebergang von einer Einstellung auf eine andere ohne bemerkbare Schwingungen: auf einen Ruck, wie es bei meinen Wiedemann'schen Spiegelgalvanometern Fig. 42, 44, sowie bei meinen Einheitsgalvanometern stattfindet, so bezeichnet man eine so hochwirksame Dämpfung nach du Bois-Reymond als »aperiodisch«.[1] 114

[1] Du Bois-Reymond, Berlin. Akad.-Ber. 1869, 807; 1870, 537. — Die englische Sprache bezeichnet eine aperiodisch sich bewegende Nadel als »dead beat« (todtgeschlagen). — An dieser Stelle glaube ich bemerken zu dürfen, dass diese schwingungslosen Bewegungen einer Nadel — hervorgebracht durch Rotationsmagnetismus — von mir schon 1868 beobachtet und practisch verwendet wurden, als ich die zu Lamont'schen erdmagnetischen Variationsapparaten verwendeten (hufeisenförmigen) Magnetnadeln mit einem sehr dickwandigen Hohlcylinder aus Kupfer umgab, wie dies in »Edelmann's neueren Apparaten« (Schweizerbart's Verlag in Stuttgart) pag. 103 beschrieben wurde und auch jetzt noch in meinen Taschengalvanometern angewendet wird. Ich wählte diese Form der Nadel desshalb, weil

Solch' eine ausgiebige Dämpfung erhält man durch die in Fig. 64 abgebildete Construction von Siemens. Die Magnetnadel *N* hat die Form einer Glocke, d. h. sie ist ein Stahlrohr mit halbkugeligem Abschluss oben. Eine Querspaltung in der Richtung *ab*, die bis zur Kuppe hinaufgeführt wird, öffnet den Cylinder durch die beiden Schlitze *ab*. Durch Aufsetzen auf den Elektromagnet (Fig. 28) wird diese Form sehr stark magnetisch und zwar sorgt man dafür, dass die Pole an den unteren Rändern bei *n* und *s* einander gegenüberliegend sich befinden. An dem Stiele *l* trägt die Nadel oben entweder einen Spiegel oder einen leichten Zeiger, durch welche ihre jeweilige Stellung auf bereits beschriebene Weise (72), (73) abgelesen werden kann.

Fig. 64

Die Nadel *N* bewegt sich ganz frei in der cylindrischen Aushöhlung *H* einer »aus dem Ganzen« gedrehten Kupferkugel (ich verwende häufig z. B. bei den Einheitsgalvanometern und bei den Müller'schen Galvanometern einen dicken Kupfercylinder). In die Höhlung *H*, deren Durchmesser etwa 2 mm grösser ist, als die äussere Begrenzung

---

Lamont aus theoretischen Gründen für die Pole bei möglichster Stärke doch nur kleinen Abstand vorschrieb, und construirte zu dieser Nadel die allein mögliche Form des Dämpfers als Rotationskörper, um dem von Lamont stark beargwöhnten magnetischen oder diamagnetischen Einfluss auf die Nadelstellung durch Dämpfermassen, welche ungleich um die Drehaxe herum vertheilt sind, zu begegnen. Von Lamont, der damals noch lebte, und dem ich die ganze Sache vorlegte, wurde die Construction als zweckmässig anerkannt; er wunderte sich ebenso wie ich nicht wenig über die Dämpfungswirkung. Von da ab werden die sämmtlichen Lamont'schen Variationsapparate wie angegeben in meinen Werkstätten ausgeführt. Uebrigens erreicht man mit dieser einfacheren Form die vollkommene Aperiodicität selten und nur dann, wenn man zufällig ganz ausgezeichneten Stahl für Nadeln und vorzügliches Kupfer zu den Dämpfern erhalten kann.

Die jetzt meistens benützte Form, die dadurch entsteht, dass man das Hufeisen zur Glocke verbreitert und nur noch durch zwei schmale Schlitze geöffnet sein lässt, rührt von Siemens her; ebenso die cylindrisch ausgebohrte Kupfer-Kugel. Hierdurch wird zwar die Dämpfung noch wirksamer, aber auch die Orte der Pole, welche natürlich unveränderlich mit der Nadel sein sollen, durch starke Ströme etwas unsicher. Ich habe desshalb sogar manchmal meine Hufeisennadeln noch unten zugespitzt.

der Nadel, versenkt man nämlich die Nadel so tief hinunter, dass ihr unterer Rand den Boden der Höhlung noch nirgends streift. Dreht sich die Nadel im Dämpfer, so werden wegen der Nähe ihrer kräftigen Pole an den Kupfermassen, von denen sie ja ringsherum eingehüllt ist und wegen deren ausserordentlich geringen Leitungswiderstandes sehr starke Inductionsströme erzeugt, welche in dem Dämpfer verlaufen und die Nadel hemmen, so lange sie sich bewegt. Mit dem Widerstand der Nadel verschwinden diese Inductionsströme, deren Wirkung von Faraday den Namen »Rotationsmagnetismus« erhielt.

Magnetelektrische und dynamoelektrische Maschinen.

115 Bringt man ein mit Leitungsdraht umwickeltes Stück weichen Eisens in Berührung oder in die Nähe eines Magnets, so tritt in dem Eisen Magnetismus und in Folge dieser magnetischen Zustandsveränderung in dem Leitungsdrahte ein Inductionsstrom auf, der in einer bestimmten Richtung verläuft und so lange dauert, als die Ortsveränderung des Eisens. Entfernt man das umwickelte Eisen wieder, so ergibt sich eine Inductionsstromwelle in der entgegengesetzten Richtung. Diese Annäherung und Entfernung des Eisenkernes wird in dauernder Folge practisch durch einen Rotationsmechanismus — Fig. 65 — erzielt, durch welchen Wechselströme hervorgebracht werden, die jenen aus der secundären Rolle eines Inductoriums vollkommen gleichen. Im Prinzip sind diese »magnetelektrischen Maschinen« eingerichtet wie folgt:

Zwischen den Polen eines ruhenden Stahlmagnets *m* (Fig. 65) rotirt ein Eisenkern *a*. Von den Enden des Leitungsdrahtes, der um ihn gewickelt ist, wird das eine mit der Rotationsaxe *rr*, das andere mit einem isolirt (*i*) auf der Axe sitzenden Ring *b* verbunden. Dreht man nun an der Kurbel *R*, so entstehen in *a* die Inductionsstromwellen, welche durch die Schleiffedern *fg* in die Leitung *L* gelangen; in diese schaltet man das von den alternirenden Strömen zu durchfliessende ein.

Die Form dieser Maschinen ist vielen Modificationen unterworfen, je nach Grösse und Zweck: kleinere Apparate werden manchmal anstatt der elektrotherapeutischen Inductorien verwendet; mit Dampfmaschinen oder anderen grösseren Betriebsmitteln gedreht, wobei Magnet *m* durch mehrere grosse Elektromagnete ersetzt wird,

dienen sie als Wechselstrom-Dynamomaschinen zur Herstellung elektrischen Lichtes und erzeugen Ströme bis zu vielen Hundert Ampères und Tausenden von Volts. Aus letzterem Grunde sind die Ströme von solchen grösseren Maschinen, wenn sie durch den Körper gelangen können, im höchsten Grade lebensgefährlich.

Bei den magnetelektrischen Maschinen entstehen im Anker *a* immer alternirende Ströme; man kann diese zwar durch mechanische Vorkehrungen gleichrichten, z. B. dadurch, dass man den Contactring *b*, wie Fig. 66 angibt, bayonettförmig spaltet und mit jeder Hälfte eines der Wickelenden von *a* verbindet. In die Schleiffedern gehen dann gleichgerichtete Stromimpulse über, jedoch continuirlich verläuft der Strom von solchen Maschinen auch dann noch nicht.

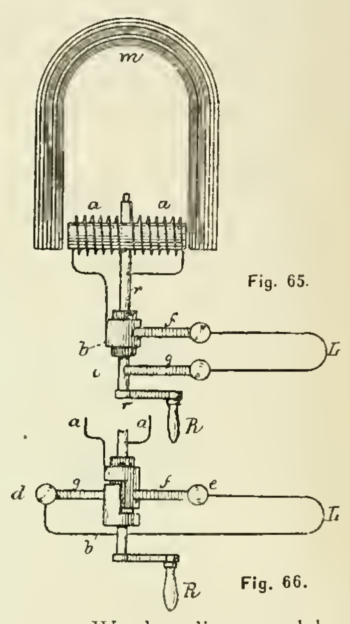


Fig. 65.

Fig. 66.

Benützt man die zuletzt angegebene Form des Apparates nicht zur Stromerzeugung, sondern leitet umgekehrt bei den Klemmen *de* genügend starke galvanische Ströme ein, so fängt die Axe von selbst zu rotiren an und wir haben im Principe einen elektrischen Motor vor uns. Werden die zu solcher Drehung aufgewendeten Ströme nicht aus Batterien, sondern einer unter Kraftaufwand in Drehung versetzten zweiten solchen Maschine entnommen, die mit der ersteren durch zwei Zuleitungsdrähte verbunden wird, so experimentiren wir das Princip der elektrischen Kraftübertragung: an einer (primären) Maschine wird durch Drehen gearbeitet — diese Arbeit in Elektricität umgesetzt — letztere irgendwohin fernegeleitet — und mit ihr in einer Secundär-Maschine eine Axe gedreht, d. h. die zum Betrieb der Primärmaschine aufgewendete Arbeit in der Secundärmaschine wiedergewonnen.

116 Von den soeben erklärten magnetelektrischen Maschinen (Wechselstromdynamo's) unterscheiden sich die gewöhnlich schlechtweg »Dynamomaschinen« genannten Inductionsapparate zur directen Erzeugung gleichgerichteter, in ihrer Intensität nicht schwankender Ströme durch folgendes Constructionsprincip, von Gramme angegeben.

Ein weicheiserner Ring *r* dreht sich zwischen den Polen *SN* eines (Stahl- oder) Elektromagnets. Dadurch wird der eiserne Ring selbst magnetisch; jedoch verbleiben natürlich die durch die Nähe der unbeweglichen Pole *NS* erzeugten Pole *sn* trotz der Drehung an ihrer Stelle. Der Eisenring ist mit Leitungsdraht — vollständig, in gleichbleibender Richtung, und in sich geschlossen — umwickelt, wie dies in Fig. 67 schematisch angegeben ist. Die Drehung der Axe *x* des Ankers wirkt nun in Bezug auf die Inductionserscheinungen in dem aufgewickelten Leitungsdrahte gerade so, als ob man zwei Drahtrollen in der Richtung des Pfeiles über die Pole *n* und *s* wegschöbe. Dieser Vorgang erzeugt beiderorts Inductionsströme, welche so wie die eingezeichneten Pfeile verlaufen: einander entgegengesetzt. Sorgt man dafür, dass die Windungsdrähte da, wo die Federn *fg* schleifen, blank gemacht sind, so gehen die bei *s* und *n* während continuirlicher Drehung sich erzeugenden und continuirlich verlaufenden Inductionsströme in die Schleiffedern über, ebenso als ob, wie in Fig. 68 gezeigt, zwei in *s* und *n* (Fig. 67) befindliche, »parallel geschaltete« Elemente *EF*, ihren Strom in die gemeinschaftliche Leitung *gLf* senden würden — siehe pag. 20 in der Anmerkung. Der aus dem Anker tretende Strom wird in der Dynamomaschine auch zur Erregung der Pole *NS* benützt, d. h. er wird entweder ganz oder doch ein Zweig von ihm um einen Elektromagneten geleitet, dem die Pole *NS* angehören. Wenn die auf diese Art eingerichtete Maschine stille stehen gelassen wird, verliert zwar der Elektromagnet, der die Pole *ns* erregt, zum grössten Theil seinen Magnetismus, den er ja nur durch die aus dem Anker hervorgehenden Ströme erhält; aber der in ihm verbleibende remanente Magnetismus reicht vollkommen aus, um die Maschine, wenn sie wieder anläuft, nach einigen Umdrehungen auf die vollständige Grösse ihrer Wirksamkeit zu bringen.

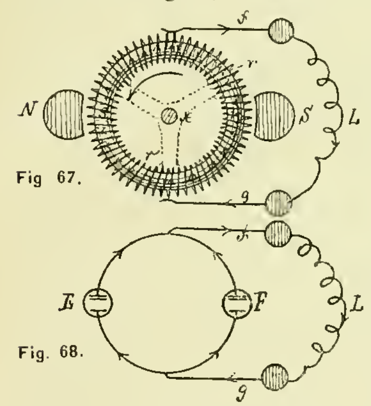


Fig 67.

Fig. 68.

Hauptsächlich solche Gleichstromdynamo's, denen obiges Prinzip zu Grunde liegt, sind es, welche im Grossen und in allen möglichen Constructionsvarianten zur Erzeugung technisch verwendeter, starker

galvanischer Ströme dienen: zu Beleuchtungszwecken, zur Galvanoplastik, Kraftübertragung, zum Laden von Accumulatoren etc. In diesem Buche ist jedoch nicht eingehender über Maschinen-Elektrotechnik berichtet, da man sich über diesen ausgebildeten Zweig der angewandten Elektricitätslehre durch bereits vorhandene gute Werke, z. B. die Lehrbücher der Elektrotechnik von Kittler, Schellen-Wietlisbach u. s. w. erforderlichen Falles unterrichten kann — und auch, weil die in dieses specielle Fach gehörigen Dinge wohl nur selten und uneigentlich in den Dienst der Elektrodiagnose und Elektrotherapie gestellt werden. Die nämlichen Worte gelten auch für das hier ebenfalls nur im Umrisse gebrachte Kapitel über elektrische Lichterzeugung.

Thermoelektrische Stromerzeugung.

117 Löthet man zwei chemisch verschiedene Metalle an ihren beiden Enden *a b* (Fig. 69) aneinander und gibt beiden Löthstellen verschiedene Temperatur, so bemerkt man in der Leitung *a d b c* einen galvanischen Strom. Man kann alle Metalle und ihre Legirungen in eine Reihe bringen, in welcher ein jedes mit einem der nachfolgenden berührt, an der wärmeren Stelle positiv elektrisch wird, so dass der Strom an dieser Stelle vom vorhergehenden Metall zum später in der Reihe enthaltenen geht (Seebeck). Als Regel kann bei der Entstehung der thermoelektrischen Ströme gelten, dass die elektromotorische Kraft um so grösser ist, je grösser die Temperaturdifferenz der beiden Löthstellen; jederzeit aber sind die auf solche Weise entstehenden elektromotorischen Kräfte sehr gering, z. B. bei Eisen — Neusilber und der Temperaturdifferenz von 1° C nur 0,000 029 Volt. Trotzdem lassen sich die thermoelektrischen Ströme vortheilhaft zu Temperaturbestimmungen, z. B. an der Epidermis, verwenden, weil vermittelst sehr empfindlicher Galvanometer, durch welche man diese Ströme leitet, eine so genaue Stromstärkebestimmung ermöglicht ist, dass Temperaturdifferenzen von Hundertel Temperaturgraden ganz gut gemessen werden können. Für Messungszwecke wird der thermoelektrische Bogen *a c b d* (Fig. 69) an den Stellen *c* und *d* in zwei Thermoelemente *A* und *B* auseinander geschnitten und durch dazwischen gesetzte Leitungsdrähte *m n p* und das Galvanometer *G* wieder gegeneinander (gleiche Metalle unter sich verbunden) zum Strom-

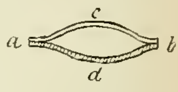


Fig. 69.

kreise verbunden, wie Fig. 70 im Schema zeigt. Will man mit dieser Vorrichtung Temperaturen messen, so bringt man zunächst die beiden Löthstellen *a* und *b* in Wassergefässe. Der Temperaturunterschied

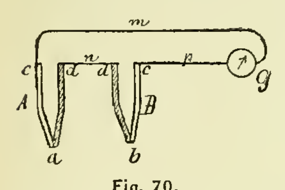


Fig. 70.

ihres Inhalts wird vermittelst eines fein getheilten Thermometers genau bestimmt und die hiezugehörige Stromstärke am Galvanometer abgelesen. Bringt man später o h n e V e r ä n d e r u n g d e s W i d e r s t a n d e s eine Löthstelle an den Ort, wo die Temperatur bestimmt werden soll, die andere in Wasser von gemessener Temperatur, so gibt die Auswerthung einer einfachen Proportion zwischen den Stromstärken und Temperaturdifferenzen das Resultat. **118**

119 Um stärkere thermoelektrische Ströme zu erhalten, kann man einzelne Elemente so zur T h e r m o s ä u l e zusammenlöthen, wie in Fig. 71 angegeben ist, dass alle auf einer Seite *a* gelegenen Löthstellen gleichzeitig einer, die anderen

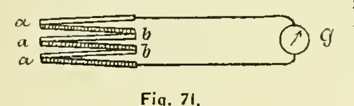


Fig. 71.

bei *b* einer zweiten Temperatur ausgesetzt werden. Die Verbindung mit einem Galvanometer *G* besorgen zwei Kupferdrähte. Auf diese Weise erhält man einen ungemein empfindlichen Messapparat, der sich hauptsächlich für Messungen über ausgestrahlte Wärme eignet.

Der Condensator. Coulomb. Farad. Der Accumulator.

Man hat zwei verschiedenartige Apparate, um Elektricität (eigentlich elektrische Energie) anzusammeln und bis zur Zeit ihres Verbrauches aufzubewahren, den Condensator und die Accumulatoren.

120 Der C o n d e n s a t o r. Wenn man von zwei parallelen leitenden Flächen *a* und *b* (Fig. 72), welche durch eine isolirende Substanz von

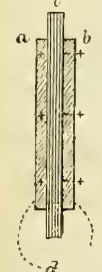


Fig. 72.

einander getrennt sind, die eine *a* elektrisirt, so bewirkt die anziehende Kraft dieser Elektricität (z. B. +), dass der unelektrische Zustand von *b* aufhört. In *b* treten beide Elektricitäten auf: ein gewisses Quantum der entgegengesetzten Elektricität (—) an der *a* zunächst liegenden Oberfläche, jedoch auch ein dieser letzteren gleiches Quantum der mit *a* gleichnamigen Elektricität (+) an der entfernt liegenden Oberfläche. Diese letztere Elektricität kann man ableiten, aber die ungleichnamige auf *b* erscheint

an die auf *a* befindliche gebunden und kann nur dadurch wieder weggebracht werden, dass man die beiden Flächen *a* und *b* unter sich leitend *(d)* verbindet; es ist dieser Vorgang von den Leydnerflaschen allgemein bekannt, wo die beiden leitenden Flächen durch die innere und äussere metallische Belegung eines Glasgefässes gebildet werden. Eine solche Vorrichtung, bestehend aus zwei leitenden Flächen und dem dazwischen befindlichen Isolator, heisst ein Condensator, dessen Aufnahmefähigkeit für grössere Quantitäten (Ladungen) von Elektricität man dadurch steigern kann, dass man die Flächen vergrössert und die isolirende Zwischenschicht möglichst dünn wählt. Dies erreicht man practisch dadurch, dass man abwechselnd Blätter von Staniol (dicker Strich) und paraffinirtem Papier (schraffirt) aufeinanderlegt und die geradzahligen und ungeradzahligen Stanniolblätter unter sich leitend verbindet, wie dies in Fig. 73 angedeutet ist. Um einen handlichen Apparat daraus zu bilden, werden die Blätter in einen Kasten *K*, aus dem nur die Zuleitungsdrähte *a* und *b* zu den beiden Belegungen des Condensators hervorkommen, eingelegt und mit Paraffin *p* eingegossen. —

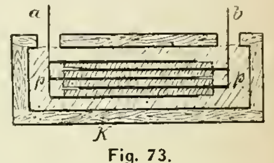


Fig. 73.

121 Man kann einen Condensator auch dadurch laden, dass man beiden Belegungen gleichzeitig die für ihre gegenseitige Bindung nothwendige entgegengesetzte Elektricität zuführt. Werden also die beiden Leitungsdrähte *a* und *b* eines solchen Condensators *C* (Fig. 74) mit einem oder mehreren galvanischen Elementen *B* verbunden, so strömt den Belegungen so lange von beiden Polen her Elektricität zu, bis jene Spannungsdifferenz (in Volt) überall zwischen den condensirenden Flächen erreicht ist, welche die beiden Pole der Batterie im nichtgeschlossenen Zustande durch die elektromotorische Kraft der Batterie erreichen können. Dabei ist zu bemerken, dass wegen der gegenseitigen Bindung der Elektricitäten die Platten des Condensators viel mehr Elektricität aufnehmen, als dann, wenn sie, ohne zu einem Condensator zusammengebaut zu sein, blos als leitende Oberfläche nebeneinander hingelegt würden.

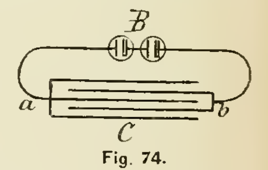


Fig. 74.

122 Ein geladener Condensator kann als Elektricitätsquelle benützt werden und schickt, wenn man die ladende Batterie *B* wegnimmt und seine Pole *a* und *b* durch eine Leitung verbindet, durch diese

im ersten Augenblicke des Schliessens einen Strom von solcher Stärke, wie er dem Ohm'schen Gesetze gemäss aus dem Widerstand dieser Leitung und der Spannungsdifferenz des geladenen Condensators sich ergibt. Hat z. B. der die beiden Belege des Condensators verbindende Draht ein Ohm, der Condensator ein Volt, so ist die Stromstärke im allerersten Augenblicke ein Ampère (56). Durch den Strom wird aber von der aufgespeicherten Elektricität weggenommen; die Spannung des Condensators sinkt dadurch — mit ihr der Strom — immer mehr und mehr bis zu Null, d. h. bis der Condensator entladen und die ganze vorräthig gewesene Elektricitätsmenge zu Strom verbraucht ist.

Rücksichtlich des Quantums der Elektricität, die in einem Condensator aufgespeichert ist, ergeben sich folgende Betrachtungen bezüglich der durch den Pariser Congress angenommenen Maasseinheiten:

123 Man nennt nämlich jene Elektricitätsmenge »ein« Coulomb, welche in einem Draht als galvanischer Strom verflossen ist, wenn dieser Strom »eine« Secunde gedauert hat und »ein« Ampère stark war. Man schreibt eine gewisse Anzahl Coulombs durch eine Ziffer und dahinter gesetztes Cb. So werden z. B. zur elektrotherapeutischen Behandlung durch einen constanten Strom von 30 MA = 0,03 A Stärke während der Dauer von einer Minute verbraucht:

$$0{,}03 \text{ A} \times 60 \text{ sec} = 0{,}18 \text{ Cb.}$$

Ferner scheidet die Elektricitätsmenge von 1 Coulomb im Kupfervoltameter 0,3281 Milligramm Kupfer (41), im Silbervoltameter 1,1183 Milligramm Silber (47) aus. Die Elektricitätsmenge des in der Anmerkung auf pag. 13 gegebenen Falles beträgt 97 Cb, da ein Ampère in der Secunde 0,0935 Milligramm Wasser zersetzt (in 0,010386 mgr. Wasserstoff und 0,0831 mgr. Sauerstoff).

124 Die Condensatoren können natürlich verschieden gross gemacht werden und in Folge dessen auch verschiedene Aufnahmefähigkeit, »Capacität« besitzen. Hat z. B. ein Condensator die Fähigkeit, bei einer bestimmten Spannungsdifferenz (Druck) eine gewisse Menge Elektricität aufzunehmen, so wird einem anderen Condensator nur die halbe Capacität gegen den ersten zugesprochen werden können, in welchem bei gleichem Drucke nur die halbe Menge von vorhin aufzuspeichern ist, oder bei dem der doppelte elektrische Druck nothwendig ist, um das ganze Quantum hineinzubringen.

Behufs rechnerischer Vergleichbarkeit von Capacitäten der Condensatoren und der übrigen Elektricität aufspeichernden oder auch nur durch Leitung aufnehmenden Körper hat der Pariser Congress gleichfalls eine bestimmte Maasseinheit, nämlich das »Farad« angenommen:

125 Ein Condensator oder dergleichen hat die Capacität von »einem« Farad, wenn er bei dem Drucke von »einem« Volt die Elektricitätsmenge »ein« Coulomb aufnimmt. Würde also ein Condensator von der Capacität »ein« Farad zuerst mit der elektromotorischen Kraft von »ein« Volt geladen und dann in genau einer Secunde durch constanten Strom geleert, so ist in dieser Secunde die Stromstärke im Schliessungsdrahte beider Condensatorpole »ein« Ampère. Man ersieht hieraus, in welch' ausserordentlich einfachem Zusammenhang die durch den Pariser Congress definirten Einheiten unter sich stehen. Bei Grössenangabe in Farad's setzt man hinter die Ziffern ein Φ; so würde z. B. mit 0,000001 Φ die am meisten gebräuchliche Grösse eines Condensators von dem Ausmaasse eines Mikrofarads zu bezeichnen sein. Man schreibt indessen der Kürze halber für ein Mikrofarad gewöhnlich 1 mf.

126 Die Accumulatoren. Diese sind zu einer Batterie verbundene galvanische Elemente aus je zwei meist sehr grossflächigen Bleiplatten, die mit einem Bleioxydpräparate (Mennige) belegt sind und in verdünnter Schwefelsäure (10 Wasser 1 Säure) stehen. Leitet man in diese Accumulatoren einen galvanischen Strom aus gewöhnlichen Elementen oder einer Dynamomaschine, so tritt an dem Bleipräparate wie in einem Voltameter die Wirkung der Elektrolyse auf. Die eine Elektrode wird sauerstoffreicher, die andere sauerstoffärmer — kurz es treten chemische Unterschiede auf, vermittelst deren die Zellen elektromotorische Wirksamkeit erlangen und in einen Schliessungskreis Strom entsenden: also jenen Strom, der zu ihrer Ladung verwendet wird, wieder gewinnen lassen.

Man benützt die Accumulatoren in neuerer Zeit manchmal als sehr bequeme transportable Stromquellen für Speisung der kleinen Glühlampen in Beleuchtungsapparaten, zur Erhitzung der Galvanokauter u. s. w.

Für die Ladung und Entladung von Accumulatoren sind bestimmte Vorschriften zu befolgen, welche beim Ankaufe derselben von Seite des Fabrikanten genauestens angegeben werden müssen,

und welche man auch in Uppenborn's Kalender für Elektrotechniker ausführlich beschrieben findet.

127 Hier sei erwähnt, dass jede geladene Zelle einer Accumulatorenbatterie eine elektromotorische Kraft von etwa 2,3 Volt besitzt und dass die Capacität für ein Kilogramm Bleigewicht zu 30000 Coulomb angenommen werden darf, d. h. dass jedem solchen Kilogramme eines vollständig geladenen Elementes, z. B. während der Dauer von beiläufig 9 Stunden ein Strom von 1 Ampère zu entnehmen ist, bis die Entladung so weit gekommen ist, als die erwähnten Vorschriften es gestatten. Ferner: Der Ladstrom soll 36 A, der Entladestrom 56 A pro Quadratmeter der positiven Platten nicht überschreiten. Endlich: Man soll Accumulatoren nie weiter entladen, als dass ihre elektromotorische Kraft nicht wenigstens noch 1,85 Volt beträgt und soll dieselben nie anders als im geladenen Zustande stehen lassen. Braucht man sie längere Zeit hindurch nicht, so muss von Zeit zu Zeit ihre Ladung ergänzt werden, da stets ein langsames Selbstentladen stattfindet. Will man dies nicht, so muss die Schwefelsäure nach dem letzten Laden abgegossen und durch viermal erneutes Wasser weggespült werden. Kurzschluss (Schliessen ohne Widerstand) ruinirt die Accumulatoren vollständig, ebenso Verkehrt-Laden.

Wärme- und Glüherscheinungen durch den galvanischen Strom.

128 Leitet man Strom durch einen Draht, so erwärmt sich dieser. Bei dicken widerstandskleinen Drähten und schwachen Strömen ist diese Erwärmung häufig nicht bemerkbar; sie kann aber unter passenden Umständen bis zur höchsten Weissgluth, bis zum Schmelzen und sogar bis zum Verdampfen der Metalle getrieben werden. Die Physik lehrt uns, dass die Wärmeproduktion durch den galvanischen Strom in einer bestimmten Zeit proportional sei zum Widerstand des Leiters und proportional zum Quadrat der Stromstärke. Welchen Temperaturgrad ein bestimmter Leitungsdraht unter dem Einflusse von Strömen annimmt, lässt sich jedoch nicht so einfach berechnen. Es würden dazu die Temperatur der Umgebung, die Spannungsdifferenz der beiden Drahtenden, der Widerstand, die Oberflächenbeschaffenheit des Leiters und noch andere Dinge in Betracht gezogen werden müssen, welche sich zum Theil der Rechnung entziehen.

Die Erwärmung eines Leiters durch den Strom kommt für uns in doppelter Weise in Anwendung: nämlich zur Erhitzung von Platinkörpern und Drähten für galvanokaustische Zwecke und dann zur Lichtentwickelung durch Glühlampen, bei welchen ein dünner Kohlenfaden im luftleeren Raum zum Weissglühen gebracht wird; solche Glühlampen werden häufig als Bestandtheile sondenartiger Instrumente benützt, um Körperhöhlen zu beleuchten. Der hiebei zu verwendende kräftige Strom wird meistens aus grossflächigen Chromsäureelementen oder aus Accumulatoren entnommen. Zur Controle des Stromverlaufes und zu dessen Regulirung empfiehlt es sich, in den Stromkreis einen Rheostaten und ein Galvanometer mit geringer Empfindlichkeit einzuschalten, z. B. für Galvanokaustik nur nach ganzen Ampères bis 20 getheilt, Zehntel-Ampères zu schätzen.

Alles Uebrige, hauptsächlich die hierhergehörigen Instrumente, sind ausführlich behandelt in Lewandowski's vorzüglichem Werk über Elektrodiagnostik und Elektrotherapie.

II. Die Maasseinheiten der Elektrotechnik.
Bestimmung der erdmagnetischen Horizontal-Intensität.

Messen. Maasseinheiten. Fundamentale und abgeleitete Maasseinheiten.

Wenn wir von einer Grösse angeben, wie oftmal eine bestimmte Grösse derselben Art in ihr enthalten ist; oder mit anderen Worten: wenn wir durch eine Zahl das Grössenverhältniss der ersten zur zweiten Grösse angeben, so haben wir die erste Grösse durch die zweite gemessen. 129

Unter dem Ausdruck »Grösse« ist alles zu verstehen, was sich der Beobachtung und unseren Begriffen mit der Eigenschaft zeigt, dass es grösser oder kleiner, stärker und schwächer vorkommen kann.

Ist es durch Uebereinkunft, Gesetz u. s. w. geboten, dass die Messung einer Grössenart immer vermittelst einer bestimmten und allgemeiner bekannten Grösse vorgenommen werde, so nennt man letztere »Maasseinheit«.

Aus diesen Erklärungen ergibt sich von selbst, dass man so viele Maasseinheiten braucht, als es begriffliche Verschiedenheiten von Dingen gibt, die man messen soll. So messen wir z. B. die Längen mit dem Meter, die Volumina mit dem Liter, Zeitdauern mit der Secunde, Gewichte mit dem Kilo, Stromstärken mit dem Ampère u. s. w. Erstere sind Grössenbegriffe, letztere die dazu gehörigen Maasseinheiten.

130 Man hat im Laufe der Zeit durch Anwendung mathematischer und physikalischer Erfahrungen gewisse Maasseinheiten aus anderen abzuleiten gelernt. So messen wir die Längen mit dem Meter, die Flächen mit dem Quadratmeter, die cubischen Inhalte mit dem Cubikmeter oder auch mit dem Liter, dessen Inhalt 1000 Cubikcentimetern gleich ist. Wir erinnern uns durch diese Beispiele daran, dass man die Maasseinheiten für Flächen und körperlichen Inhalt auf einfache Weise aus dem Meter ableitet; ebenso wurde auch der Einheit für Gewichtsbestimmungen (ein Gramm gleich dem Gewichte eines Cubikcentimeters Wasser von 4° C.) der Meter zu Grunde gelegt

Man kann nun in Bezug auf die allen Messungen zur Basis dienenden Werthe »Eins« unterscheiden zwischen fundamentalen Maasseinheiten (z. B. Meter) und den aus ihnen abgeleiteten Maasseinheiten (z. B. Cubikmeter). Dass man versucht, die Anzahl der fundamentalen Maasseinheiten möglichst zu reduciren und auf diese die andern aufzubauen und zu begründen, ergibt sich ausser wegen rechnerischer Vortheile noch desshalb als nothwendig, weil alle verschiedenen Maasseinheiten, z. B. das Ampère, Ohm u. s. w. in ihrem Werthe unveränderlich, und — wenn verloren — jederzeit und überall wieder herstellbar sein sollen: die Eigenschaft der Unveränderlichkeit kann aber nur von sehr Wenigem, woraus man »Urmaasse« ableiten kann, bewiesen werden. Solche uns als unveränderlich bekannte Dinge sind z. B. die Dimensionen und die tägliche Umdrehungszeit der Erde, der Winkelbetrag der ganzen Umdrehung eines Gegenstandes und die daraus abgeleiteten sogenannten Winkelfunctionen (Sinus, Tangente etc.). Nimmt man ausser diesen noch die mathematischen und die Naturgesetze als unveränderlich an, so hat man Alles, was zur Ableitung aller nothwendigen physikalischen Maasseinheiten nothwendig ist; wir werden dies wenigstens für die unseren Zwecken dienenden elektrischen Maasseinheiten nachweisen.

Die fundamentalen Einheiten des internationalen elektrischen Maasssystems.

131 Die vom Pariser Congress der Elektriker 1881 angenommenen Grundmaasse, aus welchen sich das Ampère, Ohm, Volt, Coulomb, Farad u. s. w. herleiten, sind:

1. Der Centimeter, welcher der tausendmillionste Theil der über Paris vom Aequator zum Nordpol gelegten Erdquadranten (nach den Rechnungen und Messungen im Jahre 1808) ist, — respective der hundertste Theil des Urmeters, welcher damals von Borda gefertigt und seitdem in den Kellern des Pariser Observatoriums aufbewahrt wurde. Das Symbol (das Zeichen, das man hinter eine Zahl setzt, um anzudeuten, dass so und so viele Centimeter gemeint sind), ist C.

2. Die Secunde, nämlich der 84600ste Theil des mittleren Sonnentages. Die Secunde kann durch astronomische Beobachtung jederzeit mit aller Schärfe bestimmt werden. Ihr Symbol ist S. — Zu der Längeneinheit C und der Zeiteinheit S kommt noch ein drittes als fundamentale Einheit gebrauchtes Maass hinzu, welches aber aus dem Centimeter abgeleitet ist, nämlich:

3. Die Masse des Gramm, als dessen Symbol wir G nehmen. Es wird hier dem aufmerksamen Leser auffallen, dass man nicht schlechtweg sagt »das Gramm«. Damit hat es aber folgende Bewandtniss. Unter Gramm versteht man gemeiniglich ein Gewicht: die von der Schwerkraft des Erdkörpers herrührende Anziehungswirkung auf einen Wasserwürfel von 1 C Seite oder die Kraft, mit welcher die Erde ein Messingstück sich zu nähern sucht, das man in einem richtigen Gewichtssatze einer Waage als »1 Gramm« bezeichnet findet. Diese Kraft ändert sich aber an jedem Orte der Erde, weil die Schwerkraft allerorts verschieden ist; wir können aber das Gramm als Gewicht für unsere Zwecke nicht brauchen; auch bedienen wir uns zur Ableitung unserer elektrischen Maasseinheiten überhaupt nicht der dem Gramm zukommenden Eigenschaft, die es annimmt, weil es sich zufällig in der Attractionssphäre der Erde befindet. Was wir als »Gramm-Maasse« für unsere Zwecke brauchen und uns vorstellen müssen, ist eine bestimmte, abgemessene Menge von materiellem Stoffe an und für sich — eine gewisse Anzahl Moleküle, welche im Univèrsum irgendwo zu einem Körper vereinigt existiren und welchen als physischem Körper eine Reihe von physikalischen Eigenschaften zukommt, z. B. die Eigenschaft des Beharrungsvermögens (Trägheit der Massen); dann die Eigenschaft, unter dem Einfluss der Drehung um eine Axe Centrifugalkraft zu äussern; auch jene, wegen der allgemeinen Gravitation sich gegenseitig anzuziehen u. s. w. Jene Menge irgend eines Stoffes, von der wir sagen, dass sie die Masse eines Grammes habe, bestimmen wir uns nun allerdings durch ihr Gewicht auf der Waage, indem wir auf die eine Waagschale das »Gramm« legen, auf die andere Schale so viel von materieller Substanz, bis (am gleichen Orte) Beides von der Erde gleichstark angezogen wird, d. h. bis das Zünglein der Waage einspielt. Dann wissen wir, dass wir beiderseits nicht nur gleiche Gewichte haben, sondern auch gleichviel »Masse«. Wir müssen also bei dem Worte »Gramm-Masse« nicht an ihr Gewicht denken, sondern an die allgemeinen physikalischen Eigenschaften einer auf bekannte Weise abgemessenen Körpermenge.

Das absolute Maasssystem. Absolute Einheiten.

132 Alle diejenigen Maasseinheiten, welche sich ausschliesslich vom Centimeter, der Secunde und der Gramm-Masse durch Anwendung

von Naturgesetzen herleiten, haben von Gauss und Weber den Namen »absolute Maasse« erhalten.

Wie man solche Ableitungen zu Wege bringt, werden wir an den nachfolgenden Beispielen sehen.

133 Absolute Einheit der Geschwindigkeit (Symbol 𝔳). Wenn sich eine Anzahl von mehreren Körpern auf derselben Bahn und jeder für sich gleichförmig fortbewegt, so wird natürlich das Erreichen des Zieles für die einzelnen verschieden lange dauern, wenn sie auch gleichzeitig diesen Weg angetreten haben. Es hängt dies eben von der Geschwindigkeit ihrer Bewegung ab. Unter Geschwindigkeit eines sich gleichförmig fortbewegenden Körpers versteht der Physiker die Anzahl von Centimetern, die in der Secunde zurückgelegt werden — also muss die Einheit der Geschwindigkeit derjenige Körper besitzen, welcher in jeder Secunde einen Centimeter vorwärts kommt.

Wollten wir z. B. die Geschwindigkeit eines Punctes vom Aequator wegen der täglichen Umdrehung der Erde in absoluten Geschwindigkeiten 𝔳 ausdrücken, so würde sich aus der Länge des Aequators zu 4 007 038 000 C, welchen Weg ein Punct desselben in 84 600 S zurücklegt, durch einfache Division ergeben 46 400 𝔳.

134 Absolute Einheit der Beschleunigung (Symbol 𝔟). Zum Begriff der »Beschleunigung« kommt man auf folgende Weise: Denken wir uns an einem Körper, der sich ohne Reibung bewegen kann, z. B. an einem auf idealen Rädern befindlichen Wagen, eine Kraft ziehend, so wird erfahrungsgemäss der Zustand der Ruhe aufhören, zunächst eine langsame Bewegung eintreten, und wir sehen (wenn die Kraft constant weiter wirkt) ein immer schneller und schneller werdendes Fortschreiten in der Richtung der Kraft. Ein solches Beispiel liefert uns ein fallender Körper, der von der Erde mit constanter Kraft angezogen ist. Seine Geschwindigkeit wächst von Secunde zu Secunde um gleich viel. Unter Beschleunigung verstehen wir nun die durch constante Wirkung einer Kraft hervorgebrachte Geschwindigkeitszunahme eines Körpers in einer Secunde, und die absolute Einheit der Beschleunigung (𝔟) ist die Geschwindigkeitszunahme um einen Centimeter in jeder Secunde.

Wollte man die Geschwindigkeitsvermehrung, die ein frei fallender Körper pro Secunde erhält, in absoluten Beschleunigungseinheiten 𝔟 wissen, so müsste man zunächst noch einen Ort dafür

bezeichnen, da die Anziehungskraft der Erde verschieden ist. Dann muss an dem gegebenen Orte der Weg gemessen werden, den ein Körper durch seinen freien Fall in der ersten Secunde zurücklegt. Der Versuch würde für diese Wegstrecke z. B. 9,81 Meter ergeben. Dann ist die Wirkung durch die Gravitation der Erde an diesem Orte 981 𝔟.

135 Absolute Einheit der Kraft (Symbol 𝔣). Eine Kraft ist die Ursache, warum der in Ruhe befindliche Körper in Bewegung kommt, oder ein sich bewegender Körper die Bewegungsrichtung oder auch seine Geschwindigkeit ändert. Eine Kraft ist natürlich um so grösser, eine je grössere Beschleunigung durch dieselbe der gleichen Körpermenge (Masse) gegeben wird; auch ist sie um so grösser, je mehr Masse sie die gleiche Beschleunigung zu geben vermag. Als Einheit der Kraft im absoluten Maasssysteme müssen wir consequent mit den Grundsätzen derselben jene Kraft bezeichnen, die in jeder Secunde der Masse eines Grammes eine Geschwindigkeitszunahme von einem Centimeter verleiht. Würde man also die Kraft »absolut Eins« = 1 𝔣 auf eine ruhende Körpermenge von der Masse eines Grammes eine Secunde lang wirken lassen, und diese Kraft genau am Schlusse der ersten Secunde annulliren, so würde der sich reibungslos weiterbewegende Körper in jeder weiteren Secunde einen Weg von einem Centimeter zurücklegen, da er ja nur einmal die Geschwindigkeitszunahme bis zu 1 Centimeter erfahren hat.

Wir haben früher angegeben, dass man unter »ein Gramm« gewöhnlich die Kraft versteht, mit welcher dasselbe als Gewicht auf seine Unterlage wirkt. Drücken wir einmal diese Kraft in absoluten Krafteinheiten aus! Wir wissen vom vorigen Beispiele, dass jeder frei fallende Körper, also auch ein Gramm-Gewichtstück in der Secunde eine Geschwindigkeitszunahme (Beschleunigung) von etwa 981 Centimetern durch die Gravitation der Erde erhält. Es wirken also auf das Grammstück, weil es die Masse eines Grammes enthält, de facto 981 absolute Krafteinheiten. Umgekehrt ist die absolute Krafteinheit, wenn man das Gewicht eines Grammstückes zum Kraft-Maassstabe wählt, $^1/_{981}$ = 0,001 02 Gramm.

136 Absolutes Maass für den Magnetismus (Symbol 𝔪). Wir beobachten bekanntlich den magnetischen Zustand der Körper dadurch, dass ihre Pole aufeinander eine Kraftäusserung ausüben: sich anziehen oder abstossen und zwar in einer Stärke, die

im umgekehrten Verhältniss steht zum Quadrate der Entfernung dieser Pole von einander. Wäre also eine irgend wie grosse Anziehung in der Entfernung beider Pole von z. B. einem Centimeter vorhanden, so wäre diese Kraft bei zwei Centimetern nur ein Viertel der vorigen, dagegen in der Entfernung beider von einem halben Centimeter viermal so gross geworden. Weil sich nun der Magnetismus als Kraft äussert, so nehmen wir zur Definition des Magnetismus die bereits definirte Krafteinheit und das Gesetz der magnetischen Kraftwirkung zu Hilfe und sagen: die magnetische Kraft oder den Magnetismus »absolut Eins« haben zwei gleich starke Pole dann, wenn sie in der Entfernung von einem Centimeter so stark auf einander wirken, wie sonst die absolute Krafteinheit.

Man kann natürlich auch die magnetische Kraft der Erde in absolutem magnetischem Maasse (Gauss war der Erste, der dies that), angeben und würde sagen können, ihr Magnetismus wäre »absolut Eins« = 1 m, wenn ein isolirter Magnetpol vom Magnetismus Eins und der Masse eines Grammes durch ihre Wirkung in der Secunde eine Geschwindigkeitszunahme von einem Centimeter annehmen würde.

Auf Grund dieses Gedankens liesse sich annehmen, dass man ähnlich wie bei der Werthbestimmung der Gravitation eine Intensitätsbestimmung des Erdmagnetismus durch die freie Bewegung eines Poles vornehmen könnte; allein eine Dislocation in dem Sinne, wie bei dem freien Fall eines Körpers durch die Schwere, also einen magnetisch verursachten Fall (bei welchem die Gravitation durch den Erdmagnetismus ersetzt würde) gibt es nicht, da jedem Magnet zwei entgegengesetzt wirkende Pole anhaften: jeder Magnetstab bleibt an seinem einmal eingenommenen Platze, auch wenn er noch so reibungslos sich verschieben könnte. Etwas anders aber wird die Sache, wenn man dem Magneten eine Drehaxe gibt, ihn also als Magnetnadel einrichtet; dadurch wird er zum Pendel: er schwingt, wenn er aus seiner Ruhelage herausgebracht wird. Allerdings schwingt er dann, wenn er an einem Coconfaden horizontal aufgehängt wird (was wegen der Reibungslosigkeit solcher Art von Drehaxe den Vorzug verdient), nur unter dem Einflusse des horizontalen Antheils der erdmagnetischen Kraft; aber wenn es gelingt, auch nur diese Kraftcomponente absolut zu messen, so ist dies für unsere Zwecke genügend.

137 Es ist hier indessen nicht der Ort, die Theorie dieser Messungen eingehend zu behandeln: »Es ist dies keine ganz leichte Sache«, pflegte mein ausgezeichneter Lehrer Lamont zu sagen. Es möge genügen, anzudeuten, dass man durch die Beobachtung der Schwingungen eines nach seinen körperlichen Dimensionen ausgemessenen Magnetstabes einerseits — und die Ablenkungswirkung desselben Magnetstabes auf eine Magnetnadel, auf welche er aus abgemessener Entfernung wirkt, andererseits — zwei Gleichungen herstellen kann, in welchen nur zwei unbekannte Grössen stecken: der Magnetismus des Magnetstabes und der Magnetismus der Erde. Auf bekannte Weise wird aus diesen beiden Gleichungen durch Elimination der Erdmagnetismus gerechnet, und es ergibt sich dann, wenn man alle Längenmessungen in Centimetern, die Massenbestimmungen mit dem Gramm und die Bestimmungen der Schwingungen in Secunden ausgeführt hat, die Horizontal-Intensität der Erde natürlich in absolutem Maasse. Die Aufstellung der zu diesen Berechnungen verwendeten Gleichungen geschieht mit Hilfe der physikalischen Gesetze, nach welchen einerseits die Schwingungen eines von Kraften angegriffenen geachsten[1]) Körpers stattfinden, und nach denen andererseits sich die Magnetnadel unter dem Einflusse zweier Kräfte, welche von Erde und Magnetstab gleichzeitig ausgehen, einstellt. Wir werden übrigens die practische Ausführung solcher Messungen an einem speciell für unsere Zwecke construirten Apparate vornehmen und, wenn auch nicht die Herstellung der Gleichungen, so doch ihre Benützung kennen lernen.

138 Das absolute Maass für die Stromstärke. Wie in früheren Zeilen demonstrirt, besitzt ein von Strom durchflossener Leitungsdraht magnetische Kraft, und wir sagen von einem Strome dann, er habe die Stärke »absolut Eins«, wenn er die Strecke von einem Centimeter durchfliessend, die nämliche magnetische Fernwirkung hervorbringt, wie ein Magnetpol vom Magnetismus »Eins«.

Für die magnetische Fernwirkung eines Stromes auf einen Magnetpol gilt dasselbe physikalische Gesetz wie für die Wirkung zweier Magnetpole aufeinander. Die Kraft ist proportional der Stromstärke, aber umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung. Dadurch kommen wir sehr einfach zur Construction eines Galvanometers, das die Stromstärke in absolutem Maasse zu bestimmen gestattet. Denken

[1]) Mit Drehungsaxe versehen.

wir uns nämlich, wie in Fig. 75, einen grösseren kreisförmigen Drahtring *abcd*, dessen Ebene vertical steht und gleichzeitig parallel liegt zur horizontalen Wirkungsrichtung des Erdmagnetismus *NS* (also im magnetischen Meridian). Denken wir uns ferner eine im Verhältniss zum Radius dieses Kreises sehr kleine Magnetnadel *ns* in dessen Mittelpunct *m* aufgehängt; dann wird von jedem Centimeter des durchflossenen Leitungsdrahtes *abcd* die gleiche Kraft auf die Nadel ausgeübt, weil der Draht überall gleichweit von ihr entfernt ist. Alle diese Kräfte sind so vielmal vorhanden, als der Umfang des Kreises in Centimetern ausmisst.

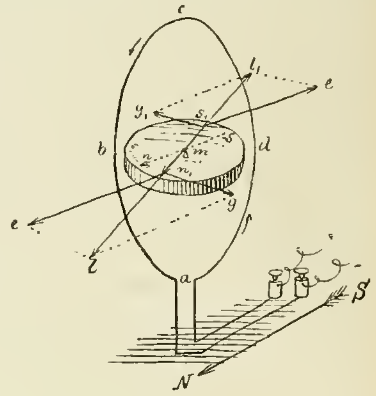


Fig. 75.

Hat dessen Radius r Centimeter, so ist diese Kraft $2r\pi$ mal wirksam; wäre die Stärke des galvanischen Stromes in absoluten Stromstärkeeinheiten bereits ausgemessen $= S$, so ist die Summe aller dieser Kräfte in der Entfernung eines Centimeters vom Drahte $2r\pi S$. Da die Entfernung der Kraftquellen von der Nadel aber nicht ein Centimeter, sondern r, so ist nach dem vorhin angegebenen Gesetz der Fernewirkung die magnetische Gesammtkraft des Stromes im Mittelpunct des Kreises in absolutem Maasse

$$n_1 g = s_1 g_1 = S \frac{2r\pi}{r \cdot r} = \frac{2\pi S}{r}.$$

Steht nun das Galvanometer an einem Orte von der absolut gemessenen Horizontalintensität H, ist also in Bezug auf die Figur

$$n_1 e = s_1 e = H,$$

und haben wir durch das Einwirken dieser Kräfte auf die Nadel *ns* den Ablenkungswinkel α erhalten, so haben wir als Gesetz für die Beziehung dieser Kräfte die Gleichung

$$\frac{n_1 g}{n_1 e} = \frac{s_1 g_1}{s_1 e} = \frac{2\pi S}{r H} = \operatorname{tg} \alpha;$$

daraus ergibt sich das Messungsresultat der Stromstärke zu:

$$S = \frac{H r \operatorname{tg} \alpha}{2\pi}.$$

Ist also in einem solchen »absoluten Galvanometer« der Radius r der Windung in Centimetern gegeben, und die Horizontalintensität H des Beobachtungsortes in absoluten magnetischen Einheiten bekannt, so rechnet sich die Stromstärke in absolutem Maasse sehr einfach durch die Auswerthung der vorstehenden Gleichung. Die Zahlenwerthe für die Tangenten der abgelesenen Winkel α kann man in eigenen Tabellen hiefür oder auch in den Logarithmentafeln aufsuchen.

139 Das absolute Maass für die elektromotorischen Kräfte. Bekanntlich erhalten wir einen durch Induction erzeugten Strom, wenn wir im Wirkungsbereiche eines Magnetpoles und in passender Stellung zu ihm einen Leitungsdraht aufstellen und nun den magnetischen Zustand des Poles verändern. Dieser Strom wird erzeugt durch eine von der Inductionswirkung herrührende elektromotorische Kraft und es führt uns dieser physikalische Vorgang dazu, den Maassstab für die elektromotorischen Kräfte gleichfalls dem Centimeter-Gramm-Secunden-Systeme entnehmen zu können. Wir bezeichnen als absolute Einheit diejenige elektromotorische Kraft, welche unter folgenden Bedingungen durch Magnetinduction erzeugt wird:

Eine Windung w aus Leitungsdraht (Fig. 76), welche genau die Fläche von einem Quadratcentimeter umschliesst, befindet sich in der Wirkungssphäre eines Magnetpoles M, jedoch so gelagert, dass der Pol senkrecht vor dem Mittelpunct dieser Fläche in beliebiger Entfernung liege. Durch den Magnetpol M wird natürlich am Orte des Drahtringes w eine magnetische Kraft erzeugt, die man in absoluten magnetischen Einheiten messen kann. Aendert sich nun (z. B. dadurch, dass sich der Pol in der Richtung aM verschiebt — oder dadurch, dass er an Stärke zu- oder abnimmt) die Intensität am Orte von w derart, dass sie sich in einer Secunde um die absolute magnetische Intensitätseinheit ändert, so entsteht dadurch in unserem Leitungsringe die elektromotorische Kraft »absolut Eins« — welche je nach der magnetischen Veränderungsrichtung auch Strom in der einen oder entgegengesetzten Richtung versendet.

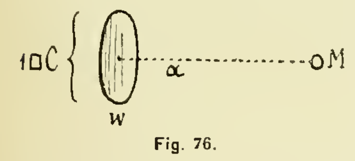


Fig. 76.

Hätte man z. B. einen Leitungsdraht von einem Quadratmeter Fläche in München, wo die absolute erdmagnetische Horizontal-

intensität etwa 0,2 beträgt, senkrecht mit seiner Fläche zur Declinationsrichtung vertical aufgestellt — und es würde der Erdmagnetismus innerhalb einer Secunde verschwinden, so entstünde im Ringe eine diese Secunde hindurch andauernde elektromotorische Kraft von 10 000 □ C × 0,2 = 5 000 absoluten Einheiten der elektromotorischen Kraft. Dieses Verschwinden der Wirkung des Erdmagnetismus auf den Ring kann man auch dadurch nachahmen, dass man den Ring um eine verticale Axe im Winkelbetrage von 90° innerhalb des Zeitraumes einer Secunde dreht. Dieses gibt die Grundidee zur Construction von Messapparaten, mit denen man die Wirkung von Strömen studirt, welche elektromotorischen Kräften absoluten Maasses entspringen.

Dass man auch die an zwei Orten einer Leitung etc. stattfindenden Spannungsdifferenzen mit dem gleichen Maasse misst, wie die elektromotorischen Kräfte, wurde bereits früher in 55—61 angegeben.

140 Absolutes Maass des Widerstandes. Nachdem die absoluten Einheiten für Stromstärken und elektromotorische Kräfte feststehen, ergibt das Ohm'sche Gesetz, dass jenem Leitungsdrahte die absolute Einheit des Widerstandes zugesprochen werden müsse, in welchem die elektromotorische Kraft »Eins« die Stromstärke »Eins« erzeugen kann. Ebenso einfach entwickeln sich jetzt auch die absoluten Einheiten der Elektricitätsmenge und Capacität:

141 Die absolute Einheit der Elektricitätsmenge ist jene, welche man in jeder Secunde braucht, um durch ihren Verlauf in einem Leitungsdrahte die absolute Einheit der Stromstärke zu erzeugen.

142 Die absolute Einheit der Capacität besitzt ein Condensator dann, wenn eine elektromotorische Kraft von der absoluten Grösse »Eins« die absolute Elektricitätsmenge »Eins« in demselben aufzuspeichern vermag.

Die in der Elektrotechnik verwendeten practischen Maasseinheiten: Ampère, Volt, Ohm, Coulomb, Farad.

143 Die Beschreibung der absoluten Maasseinheiten wurde im vorigen Capitel gegeben; bezüglich derselben soll hier übrigens nochmal ganz besonders betont werden, dass ihre Aufstellung und Definition eine ebenso willkürliche ist, wie die Aufstellung irgend einer anderen

älteren Maasseinheit, z. B. der Elle als Längeneinheit, des Cubikcentimeters elektrolytisch abgeschiedenen Knallgases als Stromstärke-Einheit u. s. w. Gauss und Weber entwickelten und benützten sie in Rücksicht darauf, dass Cubikcentimeter, Gramm und Secunde die auf der Welt bekanntesten Maasse seien, und damit endlich ein der Wissenschaft unwürdiger Zustand ein Ende erreiche: dass nämlich ein Forscher nicht wisse, was ein anderer gemessen habe — vielmehr sollen die Forschungsresultate der Gelehrten und die Angaben der Techniker Gemeingut der ganzen Menschheit werden. Die Nützlichkeit und Nothwendigkeit der absoluten Maasse wurden im Laufe der letzten drei Jahrzehnte anerkannt, die absoluten Maasse vielseitig verwendet, endlich durch den Pariser Congress definitiv geregelt und in der Wissenschaft und Technik allgemein eingeführt. Insbesondere wurden durch den Pariser Congress folgende Beschlüsse bekannt gegeben:

Die aus den Einheiten Centimeter, Grammmasse und Secunde direct abgeleiteten sogenannten absoluten Einheiten sind für die Praxis nicht bequem. Sie sind meist viel zu klein oder zu gross, und die mit denselben ausgedrückten Messungen würden aus Zahlen bestehen, die zu viele Ziffernstellen enthalten. So würde z. B. die Spannungsdifferenz, welche eine grössere Edison-Glühlampe zum richtigen Functioniren bringt, gemessen werden durch etwa 1 000 000 000 Einheiten des absoluten Maassstabes für elektromotorische Kräfte. In Folge dessen werden die in der Praxis verwendeten Einheiten dadurch aus der bezüglichen absoluten Einheit gebildet, dass man letztere mit Potenzen von 10 multiplicirt, wie folgt.

1. Practisches Stromstärkemaass:

Ampère (Symbol A) = ein Zehntel der absoluten Stromstärkeeinheit; es ist diese Grösse durch ein absolutes Galvanometer (138) oder mit dem Voltameter (38—47) zu erreichen. 144

2) Practische Maasseinheit für Widerstandsmessungen:

Das Ohm (Symbol Ω); dasselbe soll dem Hundertmillionenfachen der absoluten Widerstandseinheit entsprechen. Da aber die Herstellung des Ohm noch nicht mit der nöthigen Genauigkeit gelungen ist, so bedient man sich hiefür des — dem theoretischen Werth des Ohm jedenfalls sehr nahe liegenden — Widerstandes einer Quecksilbersäule von 106 Centimeter Länge und einem Quadratmillimeter Querschnitt bei der Temperatur des schmelzenden Eises. 145

Practisch hat man das Ohm in den Rheostaten und Brücken (43, 44, 53) zur Verfügung.

3. Practische Maasseinheit für elektromotorische Kräfte und Spannungsdifferenzen.

146 **Das Volt** (Symbol V) = der zehnmillionenmal genommenen absoluten elektromotorischen Einheit. Ueber den Werthbetrag des Volt findet man dadurch Aufschluss, dass man sogenannte Normalelemente den Messungen zu Grunde legt, von deren elektromotorischer Kraft man den Werth in Volt ausgedrückt kennt, und ausserdem weiss, dass derselbe längere Zeit hindurch constant bleibt. Dieselben sind käuflich zu haben. Die gebräuchlichsten sind: [1])

Das Element von Clarke: Reines Zink in einer Paste aus, mit concentrirter Zinksulfatlösung gekochtem Quecksilberoxydsulfat, Quecksilber mit eintauchendem Platindraht. Elektromotorische Kraft bei 15,5° C = 1,442 V. Kittler: amalgamirtes reines Zink in Schwefelsäure von 1,075 spec. Gewicht bei 18° C; reines Kupfer in Kupfervitriol von 1,190 bis 1,200 spec. Gewicht. Elektromotorische Kraft bei 15,5° C = 1,82 V; wächst bei Zunahme um je 1° C um 0,02 Procent. Fleming: unamalgamirter Zinkstab, in Zinkvitriollösung von 1,2, elektrolytischer Kupferstab in Kupfervitriol von 1,1 spec. Gewicht bei 20° C. Elektromotorische Kraft bei 18° C 1,075 V u. s. w. Von diesen Elementen eignet sich das erste nur zum Gebrauch mit dem Quadrantenelektrometer, die andern dürfen nur an Leitungen mit sehr grossem Widerstande angeschlossen werden.

Gewöhnlich rechnet man die Spannungsdifferenzen durch das Ohm'sche Gesetz, aus dem sich ergibt, dass zwischen zwei Puncten einer Leitung vom Widerstande W Ohm, durch welche ein Strom von S Ampères fliesst, die Spannungsdifferenz $S \times W$ existirt.

4. Maasseinheit für die Elektricitätsmenge:

147 **Das Coulomb** (Symbol Cb) = ein Zehntel der in absolutem Maass angegebenen Mengeneinheit — oder auch die Elektricitätsmenge, welche in einer Secunde durch einen Leiter zum Verlaufe kommt, wenn dadurch die Stromstärke von einem Ampère erzeugt werden soll.

---

[1]) Uppenborn's Kalender für Elektrotechniker.

5. Maasseinheit für die Capacität:

Das Farad (Symbol Φ) = ein tausendmilliontel der bezüglichen absoluten Einheit; darunter ist auch jene Capacität eines Condensators und Accumulators zu verstehen, welche vermittelst einer ladenden Kraft von einem Volt gerade die Elektricitätsmenge von einem Coulomb aufzuspeichern gestattet. 148

Es kommen in der allgemeinen Elektrotechnik noch einige andere Maasseinheiten vor, welche dem absoluten Maasssysteme entnommen werden, z. B. für Momente bezüglich einer Drehaxe, Effect, Energie, Arbeit (Wärmemenge) etc. Allein diese sind in unserem speciellen Fache noch nicht verwendet worden und sind desshalb hier übergangen.

Weil diese practischen Einheiten dem absoluten Maasssysteme entnommen sind, so sagt man gewöhnlich, dass auch diese Maasse absolute seien; und man heisst häufig solche Apparate, welche das zu Messende nach den Grössen Ampère, Ohm, Volt u. s. w. ergeben, oder welche nach diesen Grössen geaicht sind, »absolute Messinstrumente«.

Erdmagnetische Horizontal-Intensität. Bestimmung derselben in absolutem Maasse.

An früherer Stelle (93) wurde darauf hingewiesen, dass die sogenannten Horizontalgalvanometer wegen der Zuverlässigkeit ihrer Angaben allen anderen strommessenden Apparaten überlegen seien; zugleich wurde jedoch darauf aufmerksam gemacht, dass dieselben vom Erdmagnetismus abhängig sind. Wenn also diese Instrumente ihren Zweck vollkommen erfüllen sollen, ist die Berücksichtigung dieses Einflusses, vor Allem der Horizontal-Intensität, bei ihrer Herstellung und zuweilen auch bei ihrer Anwendung unbedingt nothwendig, wesshalb wir an dieser Stelle die bezüglichen Verhältnisse einer eingehenden Betrachtung zu unterziehen haben. 149

Dass die Erde magnetische Eigenschaften zeigt, wurde schon erwähnt. Gemeiniglich definirt man die magnetischen Erscheinungen, welche einem bestimmten Ort auf der Erde angehören, dort beobachtet und gemessen werden können, durch folgende Angaben:

1. Die Deklination (Missweisung), d. h. jene Anzahl von Winkelgraden, welche die Richtung einer am Coconfaden hängenden

horizontalen Nadel mit der Mittagslinie des Ortes bildet. Dieser Werth ist verschieden und beträgt an den in Betracht zu ziehenden Orten der Erde 0° bis zu 20° östlich oder westlich des Meridians.

2. Die Inklination. Eine um ihren Schwerpunct freibewegliche Magnetnadel zeigt im Allgemeinen mit dem einen Ende nach dem Erdinneren und steht nur in einem um die Erde in der Nähe des geographischen Aequators gelegenen Gürtel horizontal, in der Nähe der erdmagnetischen Pole der Erde dagegen vertical. Der Winkelbetrag, um den eine solche Nadel von der horizontalen Richtung abweicht, heisst Inklination. Sie kann an den bewohnten Orten der Erde bis zum Werthe von 77° (Island) ansteigen.

3. Die Horizontal-Intensität oder die Angabe der erdmagnetischen Kraft in absoluten magnetischen Einheiten (136), mit welcher der Erdmagnetismus auf eine Deklinationsnadel einwirkt. Ihr Werth variirt für die bewohnteren Orte zwischen 3,8 (Ceylon) und 1,2 C. G. S. (Island).

150 Man war früher (Biot) der Ansicht, dass die ganze Erscheinung des Erdmagnetismus von einem starken im Erdinneren gelagerten Centralmagneten herrühre, später nahm Hansteen zwei excentrische, schiefgestellte, ungleich polare und in Bewegung begriffene Centralmagnete als die Ursache an. Man ist jedoch (Gauss, Moser, Lamont) gezwungen, wegen des innigen Zusammenhanges zwischen der Wärmevertheilung und der Vertheilung der magnetischen Kraft, den Sitz des Erdmagnetismus in die Erdkruste zu verlegen und dieselbe als mit schwachem Erdmagnetismus begabt anzunehmen oder die ganze Wirkung galvanischen Strömen zuzuschreiben, welche die Erdrinde durchfliessen.

Von den drei »Constanten« ist die Deklination am längsten bekannt. Schon aus den Jahren 1011 und 1200 besitzt man Angaben über die Benützung des Compasses im Seedienst, eine Benützung, die vermuthlich aus China stammt. Als Entdecker der Inklination wird bald Georg Hartmann aus Nürnberg (1544), bald der Däne Robert Normann (1576) genannt. Die Intensität endlich hat die Physiker erst seit Alexander von Humboldt's Reisen (1798) beschäftigt. Der Erdmagnetismus bildet gegenwärtig einen umfassenden Theil der Physik der Erde, und wird mit beinahe astronomischer Schärfe auf eigenen eisenfreien Observatorien beobachtet[1],

[1]) Mousson, Physik auf Grundlage der Erfahrung. II. Aufl. III, 99.

zu welchem Zwecke zuerst von Gauss, später von Lamont und auch von Kohlrausch Instrumente angegeben wurden. In der neuesten Zeit sind dieselben von H. von Wild in Petersburg auf den wohl höchsten zunächst erreichbaren Standpunct der Vollkommenheit gebracht worden.

Wie schon früher erwähnt, ist die Vertheilung des Erdmagnetismus sehr unregelmässig und man bekommt hierüber nur dadurch einen klaren Ueberblick, dass man die Orte gleicher Deklination, gleicher Inklination und gleicher Horizontal-Intensität auf der Landkarte durch Linien mit einander verbindet, wie in Fig. 77 gezeigt ist;

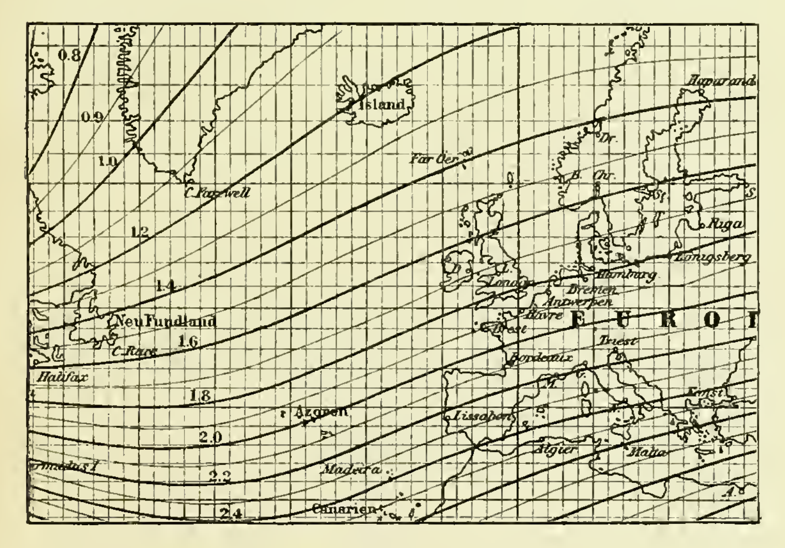


Fig. 77.

dieselbe ist ein kleines Stück eines Blattes aus dem bezüglichen ausgezeichneten Kartenwerke, das von Prof. von Neumeyer, unserem Director der deutschen Seewarte, gezeichnet wurde und von diesem Amte herausgegeben wird[1]) und zwar stellt sie die Vertheilung der Horizontal-Intensität für 1885 dar in Gauss'schen absoluten Einheiten, denen statt Centimeter-Gramm-Secunde, Millimeter-Milligramm-Secunde zu Grunde liegt. Um die eingeschriebenen Zahlen auf Congress-Einheiten umzurechnen, braucht man blos mit

[1]) Auch in dem Werke enthalten: »Compass an Bord eiserner Schiffe«, herausgegeben von der deutschen Seewarte und verfasst von v. Neumayer, Koldewey und Eylert.

Zehn zu dividiren; so entnehmen wir z. B. der Karte für die Horizontal-Intensität von München 2,03; in unseren Einheiten ist dieser Werth 0,203 C. G. S.

Die erdmagnetischen Erscheinungen sind indessen für denselben Ort nicht stets gleichbleibende Grössen; sie ändern sich, wenn auch sehr langsam, doch im Laufe der Jahre in bemerkbarer Weise. So hatte in München nach Lamont die Horizontal-Intensität folgende Werthe:

im Jahre		im Jahre	
1841	0,19300	1849	0,19437
1842	0,19339	1850	0,19523
1843	0,19373	1851	0,19549
1844	0,19374	1852	0,19608
1845	0,19374		
1846	0,19397	1885	0,20304
1847	0,19417	1889	0,20413
1848	0,19432		

Daraus ergibt sich im Laufe eines Jahres eine Zunahme im Mittel von 0,00025 C. G. S. Man darf also annehmen, dass ein Horizontalgalvanometer für medicinische Zwecke, dem man schon aus anderen Gründen keine grössere Genauigkeit als auf ein Procent vorschreiben darf, (in Europa) alle zehn Jahre eine neue Aichung für denselben Ort erhalten soll.

Streng genommen sind die erdmagnetischen Elemente nie ganz constant und auch schon während 24 Stunden kann man mit Hilfe geeigneter Instrumente, nämlich der sogenannten Variationsapparate, kleine Werthveränderungen nachweisen, welche für die Horizontal-Intensität im Sommer derart verlaufen, dass um zehn Uhr Vormittags die Kraft am kleinsten ist, bis Abends 8 Uhr um 0,0003 C. G. S. zunimmt und dann bis 10 Uhr Vormittags am nächsten Tage langsam auf den früheren Werth wieder herabsteigt. Im Winter sind diese »täglichen Perioden« viel kleiner, nämlich nur etwa 0,00005 C. G. S. Alle diese Veränderungen sind zwar für die verschiedenen Orte der Erde verschieden, aber von so geringem Betrage, dass sie auf die Genauigkeit der von uns gebrauchten Messinstrumente keinen bemerkbaren Einfluss mehr ausüben können.

Anders ist die Sache freilich dann, wenn sich zufällig »magnetische Gewitter« ereignen, z. B. während der Dauer eines Nordlichtes. Dann hört während dieser seltenen Naturerscheinung das

Messen mit einer Magnetnadel vollständig auf; man beobachtet schon mit freiem Auge Unruhe und Zittern der Bussolennadel, mitunter (wie an einigen Tagen zu Anfang der Siebenziger Jahre) ein tolles Umherirren derselben. Das Räthselhafte dieser »magnetischen Störungen«, die sich gleichzeitig auf der ganzen Erde bemerkbar machen, freilich nicht überall in gleichem Grade, war die Ursache der Gründung des magnetischen Vereines zu Göttingen im Jahre 1838 durch Gauss, Weber, Humboldt u. s. w.

151 Zur Bestimmung der erdmagnetischen Horizontal-Intensität nach absolutem Maasse (137) mit der für uns genügenden Genauigkeit bis auf die Grösse ± 0,001 C. G. S. kann man den nachfolgend beschriebenen einfachen Apparat gebrauchen, der als Hauptbestandtheil ein gewöhnliches Einheitsgalvanometer G (siehe III. Theil) enthält. Dessen Theilungsplatte trägt ausser der Aichung für die Messung des constanten Stromes in diesem Falle noch ein Stück einer einfachen Gradtheilung (links und rechts von Null bis 45°).

Das Instrument ist in seiner ganzen Zusammenstellung in einer schiefen Oberansicht (Fig. 78) gegeben: In dem innersten Rand des

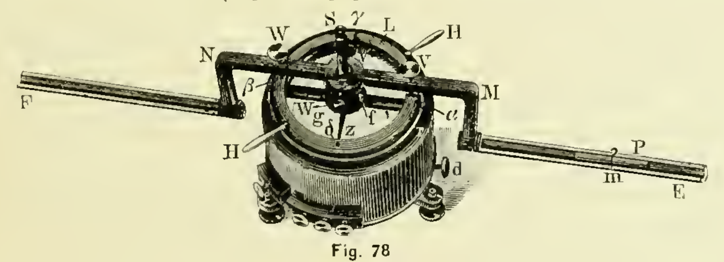


Fig. 78

die Glasplatte g festhaltenden und auf die Bussole festgeschraubten Ueberfangringes r passt ein zweiter Ring L, der am erwähnten Rande eine zur Bussole centrische Drehungsführung erhält, und welcher auf der Glasplatte g aufliegt. Auf der Oberseite dieses Ringes, der vermittelst der eingeschraubten Handhaben HH leicht herumgedreht werden kann, bemerkt man vier Einkerbungen $\alpha\beta\gamma\delta$. In je zwei einander gegenüberliegende kann man die Spitzen der Stellschrauben VW einsetzen, wodurch man der Ablenkungsschiene EF, wenn der Ring L nicht verdreht wird, zwei zu einander senkrechte Stellungen geben kann. Diese Ablenkungsschiene besteht aus einem über die Bussole weghängenden Bügel MN, der sich beiderseits in die hohlen, mit Millimetereintheilung versehenen Rinnen EF ausdehnt. In diesen Rinnen kann ein genau cylindrisch gearbeiteter

Magnetstab *F* verschoben werden. Sein Abstand, d. h. der Abstand seines Mittelpunctes *m* von der Drehungsaxe der Galvanometernadel kann vermittelst der erwähnten Theilung bis auf Hundertel-Centimeter abgelesen werden.

Will man mit Hilfe dieser Apparatenzusammenstellung eine absolute Bestimmung ausführen, so hat man folgende Versuche und Messungen zu machen.

152 1. Bestimmung des Trägheitsmomentes vom Magnetcylinder. Das Trägheitsmoment ist ein in der theoretischen Mechanik häufig vorkommender Begriff, auf dessen genauere Definition wir hier nicht näher eingehen wollen. Man findet darüber in jedem Lehrbuche der Physik das Nothwendige. Es genüge die Angabe, dass darunter eine Grösse zu verstehen ist, die sich auf die Bewegbarkeit eines Körpers um eine Drehaxe bezieht. Das Trägheitsmoment eines Körpers hängt ab vom Quantum seiner Masse und der Art und Weise, wie diese Masse um die Drehaxe gruppirt ist. Hat der Körper eine geometrisch einfache Gestalt und liegt die durchaus homogene Masse noch dazu symmetrisch zur Drehaxe, so gibt es einfache Regeln, aus welchen sich das Trägheitsmoment aus dem Gewicht und dem körperlichen Ausmaass berechnen lässt. Geben wir z. B. unserem Cylinder durch einen in den Haken *m* gebundenen Coconfaden Drehbarkeit, wie dies später bei den Schwingungsversuchen anzuwenden ist, so hat dieser Cylinder ein Trägheitsmoment in Bezug auf diese Drehaxe, das sich aus folgender Formel sehr leicht rechnen lässt:

$$K = m\left(\frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4}\right).$$

In dieser Formel bedeutet K das Trägheitsmoment, m das Gewicht, l die Länge und r den Radius des Cylinders. Wir müssen m in Gramm angeben, l und r in Centimetern, und diese Werthe in obige Formel einsetzen, damit wir das Resultat der Messung in absolutem Maasse erhalten.

Im Falle eines Beispiels war:

$l = 4{,}99$ C

$r = 0{,}446$ C

$m = 24{,}957$ Gr., hieraus rechnet sich

$K = 50{,}226$ absolut.

Diese Bestimmung wird natürlich für denselben Magnetcylinder überhaupt nur einmal gemacht und werden von Seite meiner Werkstätten für jeden solchen Magnetcylinder auf Verlangen die bezüglichen Ausmaasse mitgetheilt.

2. Schwingungsversuche (Bestimmung der Zeitdauer einer Schwingung des Magnetcylinders in Secunden unter dem Einflusse der Horizontal-Intensität). Der Magnetcylinder *P* wird nahe über einer Tischplatte gegen Luftzug möglichst geschützt an etwa 50 C langem Suspensionsfaden (zwei Coconfäden parallel genommen haben die genügende Tragkraft) aufgehangen und ein Blatt Papier mit einem geraden Bleistiftstrich untergelegt. Ist der Cylinder zur Ruhe gekommen, was mit einem passend von der Seite zu nähernden Eisenstücke leicht bewerkstelligt werden kann, so dreht man das Papier so, dass in einer bequemen Stellung des Auges der Bleistiftstrich gerade von einer Längenseite des Cylinders bedeckt erscheint. Dies erleichtert sehr die Beobachtung des Augenblickes, wenn der schwingende Cylinder die Ruhelage passirt. Dann versetzt man den Cylinder in Schwingungen und zählt die Secunden (bei etwa 20° betragenden Elongationen der Schwingungen — mit Null zu zählen anfangen!), welche während einer gewissen Anzahl von Durchgängen des Cylinders durch die Ruhelage verstreichen. Wenn man eine der jetzt häufiger vorkommenden Taschenuhren mit ein- und ausrückbarem Secundenzeigerwerke benützen kann, so ist die geschilderte Arbeit eine sehr einfache Sache. Etwas mehr Uebung erfordert es freilich, wenn man die Secundenschläge, die man von einer Uhr aus hört, gleichzeitig mit den Schwingungen zählen muss. Man fängt beiderseits mit Null zu zählen an, wenn ein Secundenschlag mit einem Durchgange zufällig zusammenfällt, zählt die Secunden im Gedächtniss und die Durchgänge durch Striche auf ein Papier und hört mit dem Momente zu zählen auf, wenn sich wieder eine Coincidenz ereignet hat.

153

Im Falle unseres Beispieles vollendete der Magnetcylinder 85 Schwingungen in 242 Secunden. Die Zeitdauer einer Schwingung war also:

$$t = \frac{242}{85} = 2{,}847 \text{ S.}$$

3. Ablenkungsversuche. Zur Vornahme derselben dient der oben beschriebene Apparat: Man stellt das Galvanometer vermittelst einer kreuzweise darüber gelegten Libelle horizontal, macht durch

154

Hochstellen der Suspensionsröhre S die Nadel frei beweglich und dreht das Galvanometer, dass die Nadel genau auf Null der Kreistheilung einspielt; man sieht beim Ablesen des Zeigers z immer genau über die Mitte des Suspensionsröhrenkopfes S weg, damit man durch Schief-Sehen keinen Ablesungsfehler (Parallaxe) machen kann.

Hierauf muss die Torsion des Aufhängefadens der Nadel beseitigt werden, wenn dies nicht schon früher geschehen; wie dies zu machen ist, findet man in einem späteren Capitel, in dem das Einheitsgalvanometer ausführlich behandelt wird, beschrieben. Dann setzt man den Ring L auf, hängt auf diese die Ablenkungsschiene, stellt auch diese mit der Libelle horizontal und dreht dieselbe vermittelst der Handhaben HH am Ringe so, dass sie parallel zum magnetischen Meridian wird. Nun legt man noch den Magnetcylinder P in die Rinne der Ablenkungsschiene ein — aber so, dass er dem Erdmagnetismus entgegenwirkt und er also beim Näherschieben die natürliche Lage der Nadel umkehrt. Man entfernt denselben hierauf wieder langsam, aber nur so weit, dass die Richtkraft der Erde eben wieder die Oberhand bekommt. Endlich drehe man an den Handhaben des Ringes L, bis die Nadel wieder auf Null einspielt (durch knappes Rechts- und Linksvorbeisehen an der Ablenkungsschiene, die jetzt über Null steht, zu beurtheilen). Durch diesen Vorgang steht die Ablenkungsschiene genau im magnetischen Meridian. Dieselbe wird jetzt abgehoben, senkrecht zu dieser Lage in die beiden anderen Kerner des Ringes L eingesetzt, dadurch in ihre für die Ablenkungsversuche nothwendige Lage verbracht und nun durch vorsichtiges Festziehen der Schrauben fvw in dieser Stellung gesichert.

Nunmehr werden vier Stellungen des Magnetcylinders durch Verschieben desselben auf beiden Enden der Ablenkungsschiene und Umdrehen des Magnets gefunden werden können, in welchen er eine Ablenkung der Galvanometernadel von genau 30° rechts und links von Null erzeugt. Die zugehörigen Abstände werden — vermittelst der Eindrehung zu Mitte m des Magnets — an der Schiene EF in Centimetern abgelesen, die vier Ablesungen addirt, diese Summe mit 4 dividirt und so ein mittlerer Abstand des Magnets A gefunden, der in der Rechnung benützt wird.

Im Falle unseres Beispieles las ich ab:

17,43 C
17,22 C
17,42 C
17,21 C

Summe 69,28 C; dividirt durch 4 ergibt A = 17,32 C.

4. Berechnung. Bezeichnet man mit *H* die Horizontal-Intensität der Erde, mit π das bekannte Verhältniss 3,1416 zwischen Umfang und Durchmesser eines Kreises, mit *K* das Trägheitsmoment des Magnetcylinders, den wir bei den Ablenkungs- und Schwingungsversuchen verwendeten, mit α den von diesem in der Entfernung A hervorgebrachten Ablenkungswinkel, mit *t* die Schwingungsdauer des Magnetcylinders, so hat man zur Berechnung von *H* folgende Formel zu benützen:

155

$$H^2 = \frac{2\,\pi^2 K}{t^2 A^3 \operatorname{tg} \alpha}.$$

Da wir stets eine Ablenkung von 30° haben, so kann man diese Formel zum Theil auswerthen und folgende nehmen:

$$H = \sqrt{34{,}26 \cdot \frac{K}{t^2 \; A^3}};$$

oder wenn man Logarithmentafeln zum Rechnen verwenden will

$$\log H = (1{,}53389 + \log K - 2 \log t - 3 \log A) : 2.$$

Im Falle unseres Beispieles rechnet sich aus der obigen Formel:

H = 0,202 C. G. S.

Genauer werden diese Messungen, wenn man die Ablenkungsversuche für zwei verschiedene Winkel α und β, die sich aus zwei Abständen A und B des Ablenkungsmagnetes ergeben, durchführt; dann hat man folgende Formel zur Aufsuchung von H zu benützen:

$$H = \frac{\pi}{t} \cdot \sqrt{\frac{2\,K\,(A^2 - B^2)}{A^5 \operatorname{tg} \alpha - B^5 \operatorname{tg} \beta}}.$$

Die Wirkung der Torsion von Seite des Aufhängefadens kann bei den Schwingungsversuchen durch einen genügend langen Faden, bei den Ablenkungsversuchen durch Drehen am Torsionskopfe um den Winkelbetrag der Ablenkung vermieden werden.

III. Die elektromedicinischen Präcisions-Apparate.

Allgemeines und Historisches über Galvanometer.

Unter den Präcisions-Apparaten, welche der Elektriker benützt, nimmt das Galvanometer die erste Stelle ein; ebenso verhält es sich auch selbstverständlich in der Elektrotherapie und Elektrodiagnose. Jene Zeiten, in denen man den constanten Strom in den Körper sandte, ohne seine Intensität zu kennen und zu messen, — oder man höchstens ein Galvanometer in den Stromkreis einschaltete, um zu sehen, »ob der Apparat gehe oder nicht gehe«, sind vorüber — wenn auch noch nicht lange, so doch für immer.

156

Es muss eben Alles, was man verwendet und untersucht, auch gemessen werden, damit der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung erkannt werden kann. Nur ein rationell angelegter Versuch, bei dem die Anwendung von Maass und Messapparat in streng wissenschaftlicher Weise die erste Rolle spielt, erhebt sich über das Niveau des Dilettantismus und kann ein Baustein der Wissenschaft werden.

Für den Zweck der Untersuchung oder Behandlung mit constanten Strömen bedient man sich speciell hiefür construirter Galvanometer, durch deren einfache Ablesung, nämlich der Zeigerstände über einer mit entsprechender Theilung versehenen Kreisscheibe (72), sich ohne weitere Rechnung die Constanten der Ströme in Ampère oder Volt zu erkennen geben. Solche Galvanometer heissen gewöhnlich »absolut geaicht« oder »Einheitsgalvanometer«, und der Vorgang, durch welchen man diese Theilungen herstellt, ihre »Aichung«.

Die ersten nach Stromstärke geaichten Galvanometer wurden in meinen Werkstätten und zwar bereits im Jahre 1872 hergestellt. Dieselben waren nach dem chemischen Strommaasse von Eins = 1 Cubikmillimeter Knallgas per Minute geaicht:[1]) Auch nach dem

---

[1]) Lewandowski, Elektrotherapie und Elektrodiagnose pag. 156.

damals in der Physik gebräuchlichen absoluten Weberschen elektromagnetischen Strommaasse, dem das Millimeter, das Milligramm und die mittlere Zeitsecunde als Definition zu Grunde lagen, habe ich einzelne Galvanometer geaicht. Seit dem Pariser Congress verwendete ich, von Herrn Geheim-Rath Dr. von Ziemssen, der Mitglied der Commission war, unmittelbar nach seiner Zurückkunft nach München hiezu veranlasst, das Milliampère zur Graduirung und construirte eine specielle Theilmaschine zum Auftragen der Aichungswerthe auf die Theilungsplatten. Gleichzeitig wurde durch Anbringen von Nebenschlüssen (Shunts) der Messumfang dieser Instrumente vergrössert.

Die ersten Instrumente hatten meinen jetzigen Taschengalvanometern ähnliche Form. In Fig. 79 ist ein solches älteres Instrument im Querschnitte angegeben: Im Inneren eines messingenen

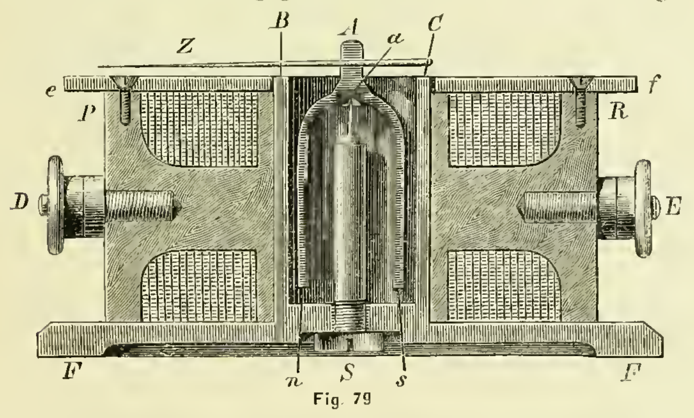


Fig. 79

Hohlkörpers *BCF* war eine Säule *S* mit Stahlspitze *a* angebracht. Auf derselben konnte sich eine hufeisenförmige Magnetnadel *Ans* drehen und ihr Zeiger *Z* bewegte sich über der Theilungsplatte *ef*, welche die Aichung trug. Ueber das Rohr *BC* war der Holzkörper *PR* gesteckt, der die Drahtwindungen aufnahm mitsammt den Klemmschrauben *DE* aussen. Kupfer-Dämpfer besassen diese Galvanometer nicht, ebensowenig einen Deckel, der die abgenommene Nadel verpacken liess. Die jetzige allgemein bekannte Gestalt erhielt das Taschengalvanometer erst 1877 und behielt dieselbe seitdem mit sehr unwesentlichen Modificationen bei.

Im Jahre 1882 — Februar — construirte ich, entsprechend einem mir von Herrn Geheimrath von Ziemssen vorgeschriebenen

Programm, als genaueres Instrument noch das Einheitsgalvanometer mit bruchgesicherter Fadensuspension und aperiodischer Dämpfung; die damalige Form, welche auf der Münchener elektrischen Ausstellung 1882 einiges Aufsehen machte, gibt beiliegender Holzschnitt (Fig. 80). *N* ist eine glockenförmige Galvanometernadel mit Zeiger *a b*, den Polen *n s* und dem kugelförmigen Kupferdämpfer *K*, an welchen die Drahtrollen R_1 R_2 angeschraubt sind.

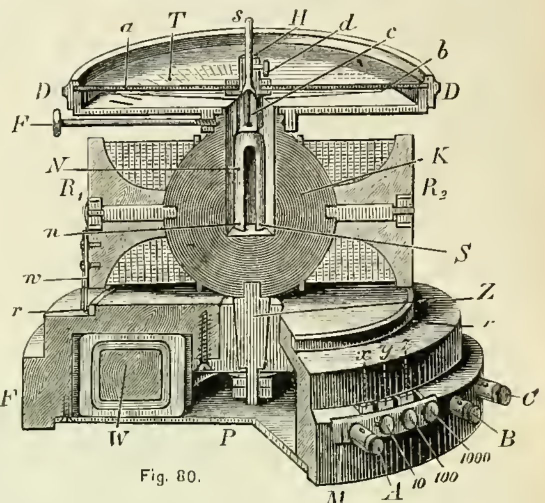


Fig. 80.

Der Zeiger *a b* schwingt innerhalb der Dose *D*, welche mit Glas abgedeckt ist, auf ihrem Boden die Theilung *T* trägt und gegen den Dämpfer vermittelst der Klemmschraube *F* wegen Einstellung des Zeigers auf Null drehbar ist. Dieser obere Theil des Instrumentes steckt vermittelst des Drehkonus *Z* im Fusse *F*, in dessen Hohlraum (verschlossen durch die Platte *P*) die Widerstände *W* untergebracht waren. Diese bestanden aus den Zweigen *x y z*, d. h. $^1/_9$, $^1/_{99}$, $^1/_{999}$ zur Modification der Empfindlichkeit (die Theilung ging damals von 0 bis 1,5 MA). Der Strom wurde, wenn das Instrument als Stromstärkemesser gebraucht werden sollte, in *A* und *B* eingeleitet. Jedoch brachte ich schon damals eine dritte Klemmschraube *C* an; zwischen *B* und *C* war nämlich noch ein Ergänzungswiderstand untergebracht, der die Benützung des Instrumentes als Voltameter (0 bis 1,5 Volt) zuliess. Die Nadel hängt vermittelst der Suspensionsvorrichtung *HS* und *d* an dem Coconfaden *c*; die Instrumente waren, wie früher auch schon die Taschengalvanometer, mit Bezug auf die Horizontal-Intensität des Bestellungsortes geaicht.

Von dieser Form existiren nur drei Einheitsgalvanometer, da ich noch während der Münchener Elektricitätsausstellung die noch jetzt gebräuchliche und bewährte Form des Einheitsgalvanometers (mit einschliessender Holzbüchse und auf Dreifuss mit Stellschrauben)

construirte; dieselbe kam 1883 in Wien zur Ausstellung und erhielt durch die mehrfachen Publicationen über dieselbe, hauptsächlich von Lewandowski herrührend, einen sehr grossen Bekanntenkreis.

1884 kam zu diesen beiden Instrumenten auf Anregung von Herrn Sanitätsrath Dr. Müller-Wiesbaden noch eine neue, nach diesem Herrn benannte, ebenfalls vielverbreitete Form eines elektrotherapeutischen Galvanometers hinzu, bei welchem der Zeiger vertical abwärts gebogen ist und die Ablesung an einer verticalen, auf einen Cylindermantel aufgetragenen Theilung bei ausgezeichneter Dämpfung geschieht.

Es dürfte vielleicht von allgemeinerem Interesse sein, wie sich erst nach und nach die Anwendung der nach Stromstärkemaass geaichten medicinischen Galvanometer eingebürgert hat. Da wohl die meisten der jetzt in Anwendung stehenden Galvanometer aus meinen Werkstätten stammen, so gibt die Anzahl der in jedem Jahre hergestellten Galvanometer ein deutliches Bild:

Es wurden hergestellt:

1872	2	1881	3
1873	1	1882	26
1874	1	1883	31
1875	3	1884	53
1876	0	1885	59
1877	0	1886	61
1878	1	1887	105
1879	0	1888	219
1880	1	1889	264 Galvanometer.

Das Taschengalvanometer.

Fig. 81 zeigt den Querschnitt, Fig. 82 eine Oberansicht des Instrumentes, das möglichst einfach, leicht transportabel und hauptsächlich mit Rücksicht auf den Gebrauch für den Praktiker ausser dem Hause construirt ist. Es be- 158

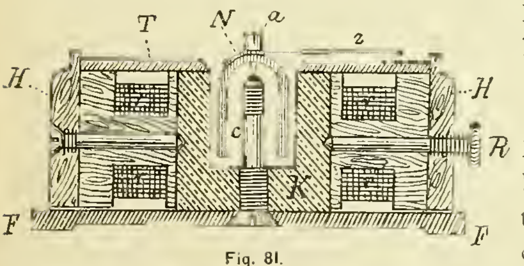


Fig. 81.

steht aus einer cylindrischen Holzbuchse *H*, welche aussen die beiden

Zuleitungsklemmen *AB*, sowie die Schaltvorrichtung *C* für den Zweigwiderstand trägt. Im Inneren der Büchse sind die beiden Galvanometerrollen *rr* und ein dickwandiger, cylindrisch ausgebohrter Kupferdämpfer *K* untergebracht. Das Instrument ist oben mit einer weissen Celluloidplatte *T* verschlossen. Auf derselben ist die Aichung durch Gravirung aufgetragen, ferner die Angaben über den Widerstand ohne und mit Einschaltung des Shunt, sowie die Horizontal-Intensität, für welche die Graduirung des Galvanometers richtig ist.

Im Inneren des Dämpfers *K* ragt ein Cylinder *c* in die Höhe, in dessen oberstem Ende das Achat-Hütchen eingelagert ist, um welches sich die hufeisenförmige, mit Zeiger *z* versehene Galvanometernadel *N* auf Stahlspitze dreht.

Das Instrument steht auf einer Fussplatte *F*, vermittelst welcher es auch in dem Falle, als das Instrument nicht transportirt werden, sondern stabile Aufstellung — als Bestandtheil eines grösseren Apparatencomplexes etc. — finden soll, auf seine Unterlage mit drei Schrauben angeschraubt werden kann.

Dem Instrument beigegeben ist ein hölzerner Deckel *D* (Fig. 82), welcher auf das Instrument aufgeschraubt werden kann. In einer Aushöhlung *H* derselben wird die Galvanometernadel beim Transporte oder beim Nichtgebrauche untergebracht. Wenn man die Schraube *R* löst, kann man bei feststehender Fussplatte die oberen Theile des Instrumentes behufs genauer Einstellung auf Null um die verticale Axe drehen.

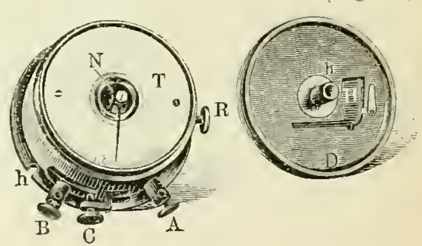


Fig. 82.

Die Theilung des Instrumentes (Ganze und Zehntelmilliampères) ist gewöhnlich von Null bis drei Milliampères (rechts und links von Null) reichend. Durch einen Zweig, dessen Widerstand genau ein Neuntel des Galvanometerwiderstandes beträgt (48 ff.), kann die Empfindlichkeit auf ein Zehntel herabgemindert werden, so dass man nach dem Niederschrauben der Schraube *C* bis zum Contact, wodurch sich der Shunt einschaltet, die Ablesung mit Zehn multipliciren muss.

Befindet sich beispielsweise der Zeiger der Galvanometernadel zwischen dem vierzehnten und fünfzehnten Theilstriche, drei Zehntel

über 14 hinaus, so würde man ohne Shunt abzulesen haben: 1,43 MA; mit Shunt 10 hätte man 14,3 MA als Stromstärke zu nehmen. In neuerer Zeit wird ausser diesem Shunt 10 wegen der in der gynäkologischen etc. Praxis jetzt angewendeten starken Ströme häufig noch ein zweiter Zweig (auf der Contactschraube mit 100 bezeichnet), der $^1/_{99}$ des Galvanometerwiderstandes beträgt, angebracht; bei Benützung derselben würde man nunmehr eine Stromstärke von 143 MA ablesen müssen.

Für den Gebrauch des Instrumentes dienen folgende Vorschriften:

Man stellt das Instrument auf einer festen, ebenen und horizontalen Unterlage, z. B. einer Tischplatte, Fensterbrett etc. möglichst entfernt von magnetischen Gegenständen und grösseren Eisenmassen auf, schraubt vorher den Deckel *D* ab und entnimmt demselben die Galvanometernadel *N*, welche man am stielförmigen oberen Ansatze *a*, wo der Zeiger befestigt ist, gefasst, vorsichtig mit ihrer Stahlspitze in das Achathütchen in Mitte der Dämpferhöhlung einsetzt. Hierauf bringt man durch Drehen des Instrumentes den Zeiger mit Null der Theilung zur Deckung, schraubt die Zuleitungsdrähte ein etc.

Will sich der Zeiger nicht ordentlich einstellen, so klopft man mit dem Finger leise auf die Unterlage, damit die mit jeder Spitzensuspension fast unvermeidlich auftretende Reibung überwunden werde. Es ist wegen guter Funktion des Instrumentes unerlässlich, dass man das Achathütchen und die Stahlspitze sehr rein hält (mit weichem Rehleder und einem zugespitzten Hölzchen putzen!), sowie dass man aus dem Inneren des Dämpfers und von der Magnetnadel durch häufiges Abpinseln allenfalls adhärirende Staubfasern etc. sorgfältig entfernt. Erst wenn man sich überzeugt hat, dass die Nadel vollkommen frei beweglich ist — man sieht dies trotz der guten Dämpfung sehr leicht — und dass beim Commutiren des Stromes die Nadel beiderseits gleiche Ausschläge annimmt, ist das Instrument in Ordnung und zum Messen bereit.

Besonders soll die Drehspitze der Nadel geschont werden, was am Besten durch Unterbringung derselben im Deckel beim Nichtgebrauchsfalle geschieht. Ist die Spitze stumpf geworden, dann kann man sie auf einem feinen Oelsteine (Arkansas) durch vorsichtiges Schleifen unter der Loupe zuschärfen; besser ist es, das Instrument zur Reparatur in die Werkstätte zurückzuschicken,

besonders dann, wenn durch irgend ein Versehen ein grösseres Stück der Spitze brach, wobei dann auch die Aichung einer Revision bedarf. Uebrigens brechen die Spitzen nicht so leicht; sie nützen sich bei schonender Behandlung fast gar nicht ab.

Die Taschengalvanometer werden in meinen Werkstätten in verschiedenen Modificationen angefertigt, je nach dem Zwecke, den sie erfüllen sollen:

1. Entweder mit der vorhin beschriebenen einfachen Fussplatte; oder auch

2. Mit Dreifuss und drei Stellschrauben zum Horizontalstellen. Ferner, was die Empfindlichkeit anbetrifft:

a) Mit Aichung von 0 bis 3 Milliampères und dem Zweige 10 (gewöhnliche Form).

b) Mit Aichung von 0 bis 3 MA, aber zwei Shunts: 10 und 100.

c) Mit einer Aichung von 0 bis 2 Ampères.

d) Mit einer Aichung von 0 bis 20 Ampères für galvanocaustische Zwecke. Die Schraube *C* ist bei den letzten beiden Instrumenten blos als Stromschlüssel verwendet.

e) Als Ampèremeter und Voltmeter gleichzeitig geaicht; der Messumfang wie bei *a*; jedoch ist im Galvanometer noch ein Ergänzungswiderstand untergebracht, bei dessen gleichzeitiger Benützung mit Shunt 10 das Zehntelmilliampère die Bedeutung eines Volt annimmt. Dieses Galvanometer misst also auch von 0 bis 30 Volt.

3. Zu den Taschengalvanometern wird auf Verlangen eine dazu passende Ablesevorrichtung beigegeben, an welcher ein unter 45 Grad angebrachter ebener Spiegel — vergleiche Fig. 86 — die Ablesung des Instrumentes in horizontaler Richtung ermöglicht.

Das Einheitsgalvanometer nach Ziemssen-Edelmann.

159 Auf pag. 112 findet man Angaben über die Entstehung dieses Instrumentes. Nunmehr hat es eine Form erhalten, welche in Fig. 83 in theilweisem Querschnitt, in Fig. 84 in einer perspectivischen Ansicht von oben gegeben ist. Das Instrument besteht:

1. Aus einem Dreifuss *T*, durch welchen dasselbe vermittelst einer kreuzweise über den Rand *r* der Bussole *K* gelegten Libelle horizontal gestellt werden kann. In diesem Dreifuss drehen sich um den Conus *C* (durch die Schraube *d* zu fixiren) die oberen Theile des Instrumentes wegen Einstellung des Zeigers *z* auf Null

der Theilung und wegen Einstellung der Rollen parallel zum magnetischen Meridian.

2. Aus der Holzbüchse *B*, innerhalb welcher die glockenförmige Magnetnadel *N*, der dicke kupferne Dämpfer *D*, die beiderseitigen Galvanometer-Rollen *R*, sowie die Widerstandsrollen untergebracht sind. An dem Umfang sind noch die stromzuführenden Klemmschrauben *b* und *c* — wenn das Galvanometer zugleich als Voltameter dienen soll, ist noch eine ebensolche dritte Klemmschraube angebracht — und die Schaltungen *10* und *100* für die Empfindlichkeit des Galvanometers.

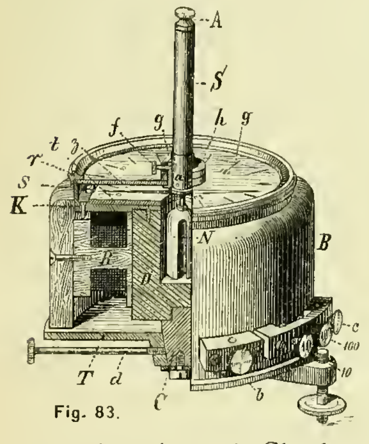


Fig. 83.

3. Aus einer mit Glasplatte abgedeckten Büchse *K*, auf deren Boden sich eine Theilungsplatte *t* aus weissem Celluloid befindet.

Von Wichtigkeit ist die Einrichtung der Fadensuspension. Die Galvanometernadel hängt an einem Bündel Coconfaden (4 parallel genommen), welches in der Länge von etwa 80 mm im Inneren der Suspensionsröhre *S* sich befindet. Dort ist es an eine Oese des Schraubenkopfes *A* eingeknüpft. In einer an der Glasplatte *g* angebrachten Büchse *h* lässt sich nun das Suspensionsrohr hoch u. niedrig stellen. Wird die Suspensionsröhre aus dem Galvanometer hervorgezogen, so ist die Galvanometernadel frei beweglich; wird sie dagegen hinabgedrückt, so weit sie geht, d. h. bis sie mit ihrem untersten Rande auf dem Zeiger *z* aufsitzt und dadurch die Nadel gegen den Boden des Dämpfers gedrückt wird, so ist der Suspensionsfaden locker (ohne Belastung) und während des Tranportes vom Instrumente gegen das Abreissen geschützt.



Fig. 84

In ihren erforderlichen Stellungen wird die Suspensionsröhre durch die Klemmschrauben *f* gehalten. — Auf der Büchse *h* (bei manchen Instrumenten auch auf der Glasplatte *g*) befindet sich eine Kreis-

theilung, welche die Stelle eines sog. Torsionskreises versieht und vermittelst welcher man nach dem Lösen einer zweiten Schraube (oder wenn die Kreistheilung auf der Deckplatte sich befindet, nach dem Lösen der Ueberfangschraube *r*) die Suspensionsröhre behufs Beseitigung der Torsion des Aufhängefadens um bestimmte Winkelbeträge und um verticale Axe drehen kann.

160 **Aufstellung und Gebrauch der Einheitsgalvanometer.** Man stellt das Galvanometer auf einer möglichst festen Unterlage (Fensterbrett, Consol etc.) entfernt von grösseren Eisenmassen und magnetischen Gegenständen auf, richtet dasselbe vermittelst der drei Fussschrauben entweder blos nach dem Augenmaasse oder besser durch eine in zwei Richtungen über die Theilungskapsel *K* gelegte Libelle horizontal, löst die Schraube *f* und zieht die Suspensionsröhre *S* so weit als nothwendig in die Höhe, worauf die Nadel frei beweglich sein wird. Die Rückwirkung des kupfernen Dämpfers *D* auf die Bewegung der Nadel ist so stark, dass die Nadel immer ihren Stand ganz oder doch fast schwingungslos einnimmt (113). Nun zieht man die Schraube *f* wieder an und dreht im Dreifusse nach dem Lösen der Schraube *d* das Instrument, bis der Aluminiumzeiger *z* der Nadel über dem Nullpunkt der Theilung steht. Man sichert hierauf durch Anziehen der Schraube *d* diese Lage. Leitet man nunmehr einen Strom durch das Instrument, indem man die beiden Drähte eines Stromkreises in die Klemmschrauben *b* und *c* (Fig. 85) einschraubt, während die Schrauben *10* und *100* lose sind,

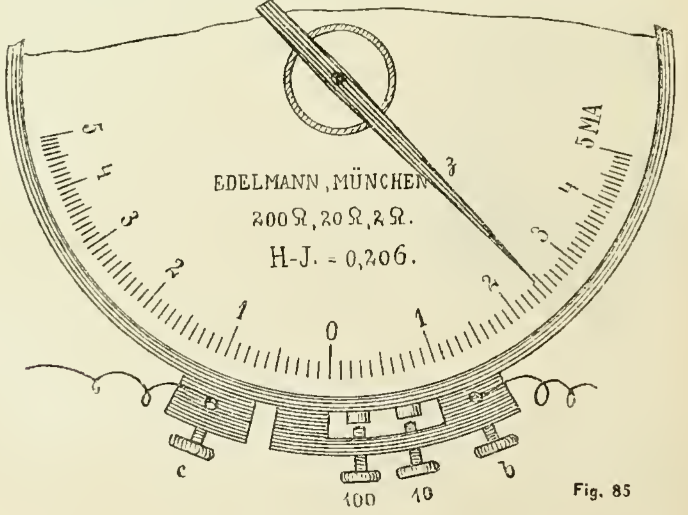


Fig. 85

so liest man auf der Theilung unter dem Zeiger z die Stromstärke in Milliampères ab; steht z. B. der Zeiger um $^3/_{10}$ der Entfernung über dem 24. Theilstriche hinaus zwischen diesem und dem 25., dann hat man eine Stromstärke von 2,43 MA. Es werden indess häufig Ströme zur Messung gelangen, welche über 5 MA stark sind, also die Nadel über die Theilung hinaus treiben werden. Man schraubt in diesem Falle eine der Schrauben *10* oder *100* bis zum Contacte hinein. Hiedurch setzt man (vermittelst nebenschliessender Zweigleitungen) den Strom in den Galvanometerwindungen auf $^1/_{10}$ oder $^1/_{100}$ seines Betrages herab (48—50) und es würde, wenn beispielsweise der obige Ausschlag unter Benützung der Schraube *10* oder *100* erreicht würde, die Stromstärke 24,3 (beziehungsweise 243 MA) durch das Galvanometer angezeigt. Im Falle der Benützung der Contactschraube *10* (oder *100*) sind also die directen Ablesungen der Scala mit 10 (bezw. 100) zu multipliziren.

Vor dem Transporte des Galvanometers vergesse man nie, die Nadel durch Lösen von *f*, Herabdrücken der Suspensionsröhre *S* und Wiederanziehen von *f* zu arretiren und dadurch den Suspensionsfaden gegen Abreissen zu schützen.

Auf der Theilungsplatte des Galvanometers — Fig. 85 — sind die Bedeutung der Theilung, der Widerstand des Galvanometers in Ohm (ohne und mit Einschluss der Zweigleitungen), sowie die erdmagnetische Horizontal-Intensität des Bestellungsortes, für welche die Aichung des Galvanometers gerechnet und hergestellt wurde, angegeben.

161 Sollte zufällig der Coconfaden reissen, so ist das Einziehen eines neuen nicht schwer:

Man löst die Schraube *f* (Fig. 83), nimmt die Ueberfangschraube *r* des Glasdeckels *g* mit der Suspensionsvorrichtung *S* vom Galvanometer ab und drückt das Suspensionsrohr nach unten heraus. Nun wird der Kopf *A* abgeschraubt, ebenso die Oese an der Galvanometernadel *N*. Nun nimmt man einen Coconfaden vierfach (jedem Instrument sind Coconfäden beigegeben), knüpft ihn zuerst an *A*, dann an die abgeschraubte Oese (hiezu ist eine Pincette sehr bequem). Das Stück vierfachen Coconfadens zwischen den beiden Oesen muss so lang werden, als die daneben gelegte Suspensionsröhre erfordert. Hierauf lässt man die Oese durch die Röhre *S* hindurchfallen und schraubt *A* wieder darauf. Nachdem der Faden durch Verticalhalten

der Suspensionsröhre sich ausgedreht hat, steckt man eine gewöhnliche Stecknadel oder dgl. durch die Querbohrung *a* in *S* und zugleich durch die Oese, dass dieselbe arretirt ist, schraubt die Magnetnadel *N* (sammt Zeiger dazwischen) an, nimmt die Stecknadel aus dem Loche *a*, schiebt die Suspensionsröhre *S* von unten her durch die Hülse im Deckel hinauf, zieht *f* wieder so an, dass die Spitze dieser Schraube in die zugehörige Langführung der Suspensionsröhre eingreift etc.

Nun muss man die Torsion des Suspensionsfadens beseitigen. Zu diesem Zwecke stellt man das Galvanometer, wie vorhin gezeigt, vollständig zum Gebrauch fertig auf: Nadel frei beweglich, Zeiger genau auf Null. Hierauf dreht man die Suspensionsröhre vermittelst der oben schon geschilderten, mit Kreistheilung versehenen Torsionsvorrichtung einmal links um 360°, dann auf Null zurück und darüber hinaus rechts herum um denselben Betrag. Die dadurch ausgeübte Verdrehung des Aufhängefadens wird zur Folge haben, dass im ersten Falle die Spitze des Zeigers links, im zweiten Falle rechts von Null Einstellung nimmt. Sind die Winkelbeträge dieser beiden Zeigerstellungen nicht gleich gross, so ist der Faden schon bei der Nullstellung des Zeigers mit Torsion behaftet, und zwar mit einer Verdrehung im Sinne des kleineren Winkels. Diese bringt man bei mehrfacher Wiederholung dieser Operation dadurch weg, dass man dem Theilkreise eine entsprechende andere Lage gibt, bis endlich die Torsionsausschläge des Zeigers beiderseits von Null gleich werden.

162 Von dem v. Ziemssen-Edelmann'schen Einheitsgalvanometer werden folgende Modificationen hergestellt.

a) Modell v. Ziemssen-Edelmann (elektro-therapeutisches Einheitsgalvanometer der Originalform): von 0 bis 5 MA (Fig. 85), durch zwei Nebenschlüsse bis 50 und 500 MA reichend, die 0,1 MA abzulesen, 0,01 MA zu schätzen.

b) Modell Stintzing-Edelmann (elektrodiagnostisches Einheitsgalvanometer): Aichung von 0 bis 2 MA, durch zwei Nebenschlüsse bis 20 und 200 MA; direct in 0,1 MA getheilt; das erste 0,1 MA in 0,01 MA getheilt, um hier Mikroampères zu schätzen.

c) Modell Lewandowski-Edelmann (Mikroampèremeter): Aichung von 0 bis 0,5 MA, durch 2 Nebenschlüsse bis 5 resp. 50 MA reichend, direct in 0,01 MA getheilt, durchaus Milliontel-Ampères (Mikroampères) zu schätzen.

d) Als Ampèremeter und Voltameter gleichzeitig geaicht, wobei es 0 bis 5, 0 bis 50 und 0 bis 500 MA wie a ablesen lässt; es

enthält dieses Instrument aber auch noch einen Ergänzungswiderstand, durch den es, wenn der Shunt 10 geschlossen wird, 0—50 Volt direct ablesen lässt (0,1 V zu schätzen). Siehe § 171.

e) Magnetometer-Modell. In dieser Modification kann es beliebig eines der vier vorhergehenden Modelle sein, erhält aber jene Nebenapparate, welche das Instrument als Magnetometer für absolute Bestimmung der Horizontal-Intensität zu benützen gestatten (siehe pag. 106 und Fig. 78).

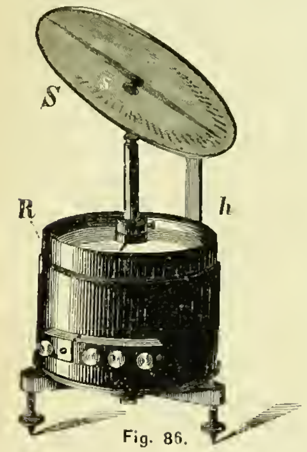


Fig. 86.

f) Dem Instrumente wird auf Verlangen eine Spiegel-Ablesevorrichtung beigegeben, welche man auf das Galvanometer setzen kann; an derselben ist unter der Neigung von 45° ein ebener Spiegel angebracht, wie in Fig. 86 gezeigt; mit diesem ist die Ablesung des Instrumentes in horizontaler Richtung ermöglicht.

Das Müller-Edelmann'sche Vertical-Galvanometer.

163 Das Instrument Fig. 87 steht auf einem Dreifusse F mit Stellschrauben und baut sich über einer Messingplatte M auf, welche im Dreifusse vermittelst Conus und Fixirungsschraube in die erforderliche Meridianstellung gebracht werden kann. Auf dieser Messingplatte ruht die aus dem Glasringe G und der Glasplatte P bestehende durchsichtige Umhüllung des Instrumentes, durch welche hindurch man die mit weissem Papier überzogene Theilungstrommel T erblickt.

Im Inneren derselben sind, wie in der Holzbüchse des Einheitsgalvanometers, die Windungen, die erforderlichen Widerstände für die Empfindlichkeitsveränderungen des Instrumentes, ein dickwandiger, kupferner Dämpfer, sowie die glockenförmige Magnetnadel untergebracht, an welch' letztere ein sehr leichter Zeiger Z befestigt ist, dessen Ende W vertical abwärts gebogen, vor der Theilung T läuft. U ist eine fest abschliessende Holzbüchse und S die Fadensuspension.

T ist direct in Milliampères und deren Zehntel getheilt und weithin sichtbar. a und b sind die stromzuführenden Klemmschrauben; zwischen ihnen liegen die zwei Schrauben *10* und *100*, durch deren Niederschrauben bis zum dahinterliegenden Contact die

Empfindlichkeit des Instrumentes wie beim Einheitsgalvanometer modificirt werden kann. (In der Figur ist fälschlich 10, 20 und 30 angegeben.)

Beim Aufstellen des Instrumentes postirt man dasselbe so, dass man die Verbindungslinie der beiden Säulen, welche die Suspensionsröhre tragen, senkrecht zu der Richtung dreht (Drehung im Dreifusse), die man als Richtung zum Ablesen der Ruhelage (Null) als am bequemsten findet. Hierauf wird die Theilungstrommel T auf das Instrument gelegt, Null gegen den Ort, von welchem aus man

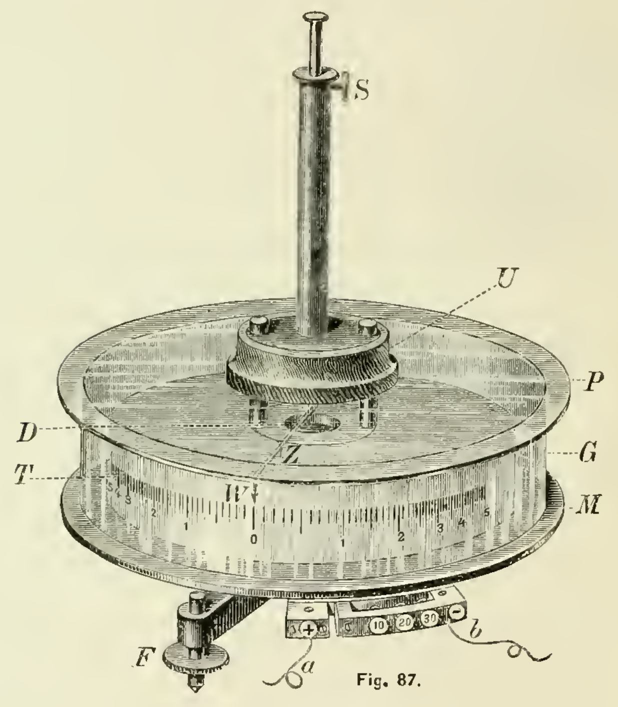


Fig. 87.

abliest. Nun setzt man die Magnetnadel ein und stellt den Zeiger so gegen die Magnetnadel (vorsichtig! damit nichts verdorben wird), dass das herabhängende Ende des Zeigers auf Null einspielt bei freier Beweglichkeit der Nadel. Um dies zu erreichen, wird die Fassung des Zeigers über der glockenförmigen Magnetnadel gedreht. Fehlt nur mehr wenig, so kann man das Galvanometer etwas drehen, dass die Nullstellung des Zeigers genau wird.

Nun dreht man die Galvanometerrolle vermittelst der Klemmschraube, welche auf der Unterseite der Platte M aus einem halb-

kreisförmigen Schlitze hervortritt, bis die Ausschläge rechts und links gleich werden.

Von diesem Galvanometer werden folgende Modificationen ausgearbeitet:

a) Originalapparat: Aichung 0—8 MA; durch zwei Shunts bis 80 und 800 MA messend, 0,1 MA abzulesen, 0,01 MA zu schätzen.

b) Diagnostisches Galvanometer: 0—1 MA, in 0,01 getheilt, 0,001 zu schätzen; Messumfang 0—10 MA, 0—100 MA.

c) Aichung wie a, jedoch zugleich Voltameter mit Shunt 10; Messumfang: 0—8, 0—80, 0—800 MA, gleichzeitig 0—80 Volt; 0,1 Volt zu schätzen.

d) Auf Verlangen wird dem Instrumente ein an einer Wand zu befestigender (einzugipsender) Zinkconsol beigegeben, auf welchem das Galvanometer eine gute Aufstellung finden kann.

Auf dem Deckel der Theilungstrommel ist der Widerstand des Galvanometers ohne und mit Verwendung der Zweige angegeben, sowie die Horizontal-Intensität, für welche die Aichung des Galvanometers gilt.

Einfluss der Horizontal-Intensitäts-Aenderungen auf die Horizontal-Galvanometer und ihre Berechnung.

164 Auf eine Galvanometernadel wirken, wenn dieselbe vom Strome abgelenkt wird, zwei zu einander senkrecht stehende Kräfte, nämlich (siehe Fig. 75) die ablenkende Kraft $n_1 g$ der Galvanometerwindungen und die Horizontal-Intensität $n_1 e$. Construiren wir über diesen Kräften das Kräfteparallelogramm $n_1 g l e$, so ist die Richtung der Magnetnadel gekennzeichnet durch die Richtung der Diagonale $n_1 l$ und der Ablenkungswinkel α ergibt sich bekanntlich aus der Gleichung

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{n_1 g}{n_1 e}.$$

Würde nun dasselbe Galvanometer zwar von dem gleichen Strome durchflossen, aber an einem anderen Orte, wo die Horizontal-Intensität auch einen anderen Werth, nämlich $n_1 f$ hat, so wäre der Ausschlag der Nadel z. B. α_1 und dieser Winkel berechnet sich aus der Gleichung

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{n_1 g}{n_1 f}.$$

Dividirt man die beiden Gleichungen durch einander, so hat man

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{a_1 f}{a e}.$$

Diese Gleichung würde uns sagen, dass der g l e i c h e Strom an zwei verschiedenen Orten solche Ausschlagswinkel hervorbringt, dass sich die Tangenten der Ausschlagswinkel umgekehrt verhalten wie die Horizontal-Intensitäten, wobei vorausgesetzt wird, dass die beiden Kräfte $n_1 g$ gleich seien. Dies darf man aber nur bei einem Galvanometer annehmen, in welchem der Polabstand in der Magnetnadel so klein ist, dass sie gegen den Durchmesser der Drahtwindungen vernachlässigt werden darf, oder bei ganz kleinen Ausschlägen, wie bei Spiegelgalvanometern — nie aber bei den Instrumenten, wie sie für unsere practischen Zwecke in Gebrauch sind und in welchen die Länge der Magnetnadel wegen der Compendiosität und nöthigen hohen Empfindlichkeit der Apparate einen ganz erheblichen Bruchtheil des Durchmessers der Windungen beträgt.

Wir können aber z u n ä c h s t nur sagen; dass an Orten kleinerer Horizontal-Intensität für d e n s e l b e n Strom ein grösserer Ausschlag erscheinen wird, als an Orten grösserer Horizontal-Intensität und dass das Verhältniss dieser Ausschläge zu einander nur insoweit dem vorhin angegebenen Tangentengesetz folgt, als das Tangentengesetz für die Galvanometer überhaupt richtig ist oder nicht. Von der Giltigkeit des Tangentengesetzes soll man aber grundsätzlich keinen Gebrauch machen. Die Theilungen auf den Zifferblättern, an welchen die Zeigerstände die Stärke der in den Galvanometerwindungen kreisenden Ströme richtig angeben, dürfen nicht nach dem Tangentengesetze geaicht werden, sondern sie m ü s s e n directe Stromstärke-Aichungen erhalten und unter dieser Voraussetzung erscheint das oben Erklärte in ganz anderen Verhältnissen.

165 Zur Erläuterung dessen benützen wir die Fig. 88. Wir wollen annehmen, dass die beiden Stände a und a_1 der Galvanometernadel an d e m s e l b e n Orte (also bei g l e i c h e r Horizontal-Intensität) bezeichnet wurden für zwei Ströme, die sich z. B. in ihrer Intensität zu einander verhalten wie 1 : 2; d. h. der Strom, dem der Ausschlagswinkel β entspricht, sei doppelt so stark als der, welchen der Winkel α hervorgebracht habe. Wir wissen in Bezug auf die zugehörigen Kräfteparallelogramme $abcd$ und $a_1 b_1 c_1 d_1$ n u r, dass sie

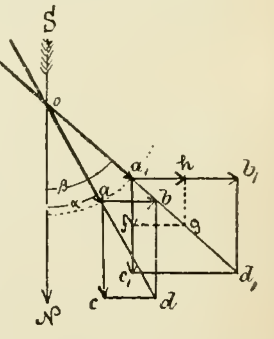


Fig. 88.

einer Thatsache entsprechen; wir wissen aber auch, dass die Kraft ac

der Kraft $a_1 c_1$ gleich ist, da die Horizontal-Intensität jedenfalls unverändert bleibt. Würden wir also die Puncte a und a_1 auf dem Zifferblatt des Galvanometers als richtige Aichungspuncte angemerkt haben, und würden wir das Galvanometer an einen zweiten Ort verbringen, wo die Horizontal-Intensität der Erde nur die Hälfte von der vorigen betragen würde, so würde ein Strom, der am ersten Orte den Winkel α hervorgebracht hat, an dieser zweiten Stelle genau den Winkel β erzeugen. Denn $a_1 c_1$ würden übergehen in die Hälfte $a_1 f$, ebenso die Kraft $a_1 b_1$ in deren Hälfte $a_1 h$: das neue Kräfteparallelogramm $a_1 h g f$ hat also mit dem früheren $a_1 b_1 c_1 d_1$ den gleichen Winkel β. Das nämliche liesse sich nun für alle Aichungspuncte, die wie $a a_1$ durch gemessene Ströme entstanden sind, nachweisen und wir können also hieraus folgende wichtige Thatsachen als erwiesen annehmen:

Für Horizontal-Galvanometer, deren Theilungsplatte nicht nach Winkelgraden, oder vielmehr nach dem Tangentengesetze getheilt sind, sondern welche eine richtige Aichung nach Stromstärken tragen, ist die Ablesung für dieselbe Stromstärke — also an Orten verschiedener Horizontal-Intensität umgekehrt proportional zu den Werthen der Horizontal-Intensitäten.

Hieraus folgt unmittelbar umgekehrt: Ist ein solches Horizontal-Galvanometer für die Horizontal-Intensität H_1 geaicht und wird es an einem Orte verwendet, wo die Horizontal-Intensität H_2 herrscht, so hat man die Ablesungen am Orte von H_2 mit dem Zahlenwerthe des Bruches $\frac{H_2}{H_1}$ zu multipliciren.

Wir ersehen hieraus, wie einfach es ist, ein für einen bestimmten Ort geaichtes Horizontal-Galvanometer an einem anderen Orte zu gebrauchen — man muss nur die Horizontal-Intensität am zweiten Orte kennen, oder aus den Neumeyer'schen Karten ablesen. Die des ersteren Ortes ist auf der Zeigerplatte angegeben. Ebenso stellt sich die Correctur für das Galvanometer, wenn sich aus anderen Gründen die Horizontal-Intensität für das Galvanometer verändert haben sollte.

166 Aus den vorstehenden Betrachtungen ergibt sich gleichzeitig eine einfache Methode (Uppenborn), mit Hilfe eines constanten Stromes und eines nach Stromstärkemaass geaichten Galvanometers die Horizontal-Intensität zweier oder mehrerer naheliegender Orte, z. B. in und ausser einem Hause, zu vergleichen. Man braucht

blos an beiden Orten für genau gleich starken Strom die Ausschläge s_1 und s_2 abzulesen; dann ist

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{s_2}{s_1}.$$

Gleich starke Ströme von passender Intensität — so dass das Galvanometer etwa einen Ausschlag von 45° zeigt, wobei die genauesten Messungsresultate erzielt werden — erhält man aus irgend welchen constanten Elementen, z. B. einem grossen, vorher längere Zeit hindurch mit der betreffenden Stromstärke geschlossenen Daniell-schen Elemente oder einer halbentladenen Accumulatorzelle unter Einschaltung eines Stöpselrheostaten. Vorsichtshalber beobachtet man das Galvanometer am ersten Orte vor und nach der Strommessung am zweiten Orte, wobei die gleichbleibenden Ausschläge die Constanz des Stromes erweisen.

Die Herstellung der Theilungsplatte eines absolut geaichten Horizontal-Galvanometers.

167 Die Theilungsstriche eines absolut geaichten Galvanometers sind ungleich weit von einander entfernt, und sie kommen für gleiche Stromstärkezunahmen um so näher aneinander zu stehen, je stärker der Strom überhaupt ist; man kann dies an jeder Theilungsplatte eines Taschen- oder Einheitsgalvanometers sehen, auch in Fig. 85. Diese Entfernungen folgen einem bestimmten Gesetze, und es wäre nicht schwer, jeden Theilungspunct an seinen richtigen Platz zu setzen, wenn das Gesetz zwischen Stromstärke und Ausschlag einfach, oder wenn es nur für ein und dieselbe Galvanometerconstruction und die gleiche Grösse (soweit der Mechaniker etwas gleich gross machen kann) immer dasselbe Gesetz wäre. Man kann sich jedoch, wenn man Galvanometer richtig theilt, sehr leicht überzeugen, dass unter noch so vielen mechanisch scheinbar gleich hergestellten Instrumenten nicht einmal zwei ganz dieselbe Aichungstheilung erhalten werden; desshalb kann man Galvanometerplatten leider nicht auf dem Wege der Vervielfältigung, z. B. durch Lithographie, Stich etc. herstellen: jedes Zifferblatt muss, wenn das, was darauf steht, einen Sinn haben soll, für sich eigens geaicht werden.

Zur Erläuterung des hiefür von mir angegebenen und seit einer Reihe von Jahren in meinem Laboratorium verwendeten practischen Verfahrens möge folgende Betrachtung dienen.

Wir wollen zunächst annehmen, es wäre für ein Galvanometer das Tangentengesetz richtig, d. h. es verhielten sich die Stromstärken so, wie die Tangenten der bezüglichen Ausschlagswinkel, dann würde man die Aichungspuncte auf folgende Weise finden können.

Man schaltet das zu aichende Galvanometer sammt einer passenden Batterie, einem Commutator, einem Rheostaten und einem Normalgalvanometer in denselben Stromkreis.

Von dem Normalgalvanometer wird natürlich vorausgesetzt, dass seine Ausschläge nach ihrem Werthe in Ampères vollkommen genau bekannt sind. Dies erreicht man vermittelst vieler voltametrischer Bestimmungen (siehe 38 bis 47) und noch besser mit einem absoluten Galvanometer (138). Als Normalgalvanometer verwende ich immer mein speciell zu diesem Zwecke construirtes Fernrohrgalvanometer Fig. 45; dasselbe ist derart ausgerichtet, dass z. B. der Ausschlag von 10 Millimetern genau ein Milliampère bedeutet; (dabei kann seine Empfindlichkeit durch zugehörige Zweigschaltungen so verändert werden, dass diese zehn Millimeter bedeuten: 0,001; 0,01; 0,1 oder 1 Ampère).

Man stellt das zu aichende Galvanometer richtig auf, d. h. so, dass für gleichen commutirten Strom die Ausschläge rechts und links von Null gleich sind. Nun würde es genügen, wenn man z. B. nach Milliampères bis 5 MA aichen wollte, vermittelst des Rheostaten blos zu erreichen, dass der Strom, welcher durch beide Galvanometer geht, genau 3 MA wäre. Die beiden dieser Stromstärke entsprechenden Ausschläge links und rechts von Null müsste man auf der Theilplatte des Galvanometers durch scharfe Puncte a und b bezeichnen, während Punct c die Ruhelage des Galvanometerzeigers bedeuten soll. Der Kreis abc stelle den Weg des Zeigerendes vor, ferner Punct m den Drehpunct der Nadel (Galvanometermitte).

Copirt man nun auf ein Blatt Zeichnungspapier (Fig. 89) diese vier Puncte, zieht die Fahrstrahlen ma, mc und mb und construirt durch einen beliebigen Punct c^1 des Fahrstrahles mc die Gerade Nc^1N_1, welche senkrecht zu mc steht, so werden die den Stromstrecken 3 MA angehörigen Linien ma^1 und mb^1 die Gerade Nc^1N_1 in den Puncten a^1 und b^1 schneiden. Theilen wir die Strecken a^1c^1 und b^1c^1 in je drei gleiche Theile durch die Puncte d^1e^1 und tragen diese Strecken noch als die Puncte $f^1g^1h^1i^1$ über die Puncte a^1 und b^1 hinaus

auf der Geraden Nc^1N_1 auf, verbinden ferner alle diese Puncte mit dem Mittelpunct m, so werden die Schnittpuncte dieser Fahrstrahlen mit dem Kreise acb die Aichungspuncte an der Galvanometerplatte für die Stromstärke 1, 2, 3, 4 und 5 MA geben: wenn das Tangentengesetz richtig für dieses Galvanometer wäre;

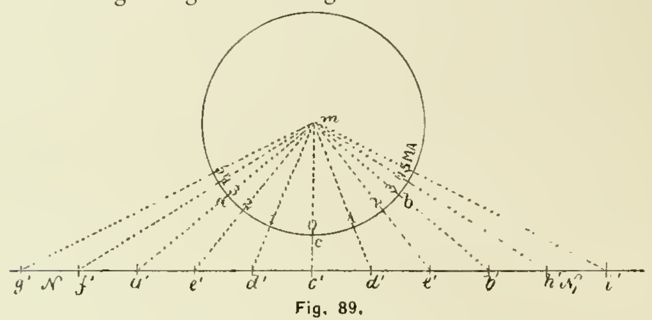


Fig. 89.

denn die vorliegende Constructionsweise bezieht sich ja auf die Construction der trigonometrischen Tangenten. Die den Zehntel-Milliampères entsprechenden Theilungsstriche (ihrethalber muss man überhaupt die ganze Construction machen) würde man ebensoleicht durch Zehnteltheilung der Geraden NN_1 erhalten. Auf jeder wie NN_1 construirten Geraden schnitten bei Giltigkeit des Tangentengesetzes die gleichen Stromstärkezunahmen zugehörigen Fahrstrahlen gleiche Strecken ab.

168 Gilt nun aber das Tangentengesetz nicht, so geht die soeben definirte Gerade NN_1 nothwendigerweise in eine jedem Galvanometer eigenthümliche Curve über, und diese (wir wollen sie Galvanometercurve nennen) zu construiren, ist die Hauptaufgabe bei der mechanisch-practischen Aichung. Es ist nun nichts leichter als dies.

Wir wollen uns wieder den ganzen Vorgang auf ein Blatt Zeichnungspapier dargestellt denken und benützen als Erklärung des Vorganges Fig. 90.

Statt zweier Puncte bestimmen wir uns auf der Theilungsplatte des zu aichenden Galvanometers mit Hilfe des Normalgalvanometers die Puncte für 1, 2, 3, 4, 5 MA rechts und links von Null. In irgend einem passenden Puncte α des Fahrstrahles mo errichten wir wieder eine Senkrechte NN_1, und ziehen die den Nadelausschlägen entsprechenden Radienvectoren mb, mc etc. Mit Hilfe eines Zirkels können wir uns jetzt leicht überzeugen, dass die Abschnitte der durch diese Fahrstrahlen auf NN_1 abgeschnittenen Strecken durchaus nicht

gleich sind: dass also die Galvanometerfunction nicht durch die trigonometrischen Tangenten der Ausschlagswinkel gegeben ist. Nun nehmen wir aber eine beliebige Länge, z. B. die Strecke ab_1 in den Zirkel, setzen diesen in a ein und schneiden mb in b_1;

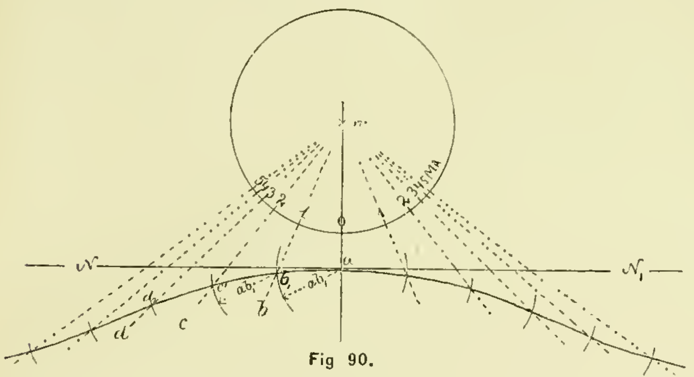


Fig 90.

dann setzen wir die Zirkelspitze in b_1 ein, schneiden mit derselben Zirkelöffnung den nächsten Fahrstrahl in c_1 u. s. w., und erhalten so die Schnittpuncte b_1, c_1, d_1, e_1, f_1. Verbinden wir nun die auf diese Weise construirten und zusammengehörigen Schnittpuncte durch eine Linie, so können wir eine Curve zeichnen, welche die Eigenschaft hat, dass auf ihr die, gleichen Stromstärkezunahmen entsprechenden Radienvectoren gleiche Strecken abschneiden.

Aus dem stetigen Verlauf dieser Curve ergibt sich, ob das Galvanometer keine magnetischen Fehler hat, und ob wir bei der ganzen Aichung und Construction richtig gearbeitet; ferner lassen sich durch Unterabtheilen der Curve und durch Rückconstruction auf den Zeigerweg leicht die zwischenliegenden erforderlichen Theilungspuncte finden.

Diese wenigen Andeutungen mögen hier genügen, um den Weg der practischen Aichung eines Galvanometers anzudeuten. Das, was hier als einfache Zeichnungsaufgabe hingestellt wurde, muss natürlich in der Praxis der Werkstätte und des elektrotechnischen Laboratoriums durch die Anwendung passend construirter Theilmaschinen und Hilfswerkzeuge gethan und hiedurch die für unsere Zwecke nöthige Unabhängigkeit von allen Zufälligkeiten und die erforderliche Genauigkeit und Sauberkeit in der Ausführung erhalten werden.

Soll nun das Galvanometer nicht für den eigenen Ort, sondern für einen zweiten mit anderer Horizontal-Intensität geaicht 169

werden (was natürlich fast immer stattzufinden hat), so darf man das Normalgalvanometer nicht auf die Stromstärken einstellen, welche z. B. 1, 2, 3, 4, 5 MA am Aichungsorte entsprechen, sondern auf Ausschläge, die das Normalgalvanometer zeigen würde, wenn es — sonst unverändert — unter dem Einflusse der Horizontal-Intensität des zweiten Ortes sich befinden würde. Wie man die für solche Aichungen zu verwendenden Ausschläge des Normalgalvanometers berechnen muss, folgt aus den auf Seite 125 gegebenen Erläuterungen.

Ueber die Berechnung der an den Galvanometern angebrachten Zweigwiderstände, welche die Empfindlichkeit den zu messenden Stromstärken anzupassen gestattet, findet man Erläuterungen im I. Theil durch die Paragraphen 48 bis 50. Auch sei hier noch besonders aufmerksam gemacht auf die dort gegebenen Erklärungen über die Veränderungen der Stromstärken durch Ein- und Ausschalten dieser Zweige. Es ereignet sich nämlich nicht selten, dass diese scheinbaren Unregelmässigkeiten als Beweise für Fehler in der Herstellung der Galvanometer angesehen werden, während sie doch natürliche Folge des Ohm'schen Gesetzes und des Gesetzes für Zweigwiderstände sind. Die Anwendung von Ergänzungswiderständen, wodurch (pag. 28) diese Erscheinung aufgehoben werden könnte, wäre jedoch nicht nur zwecklos, sondern wegen der damit verbundenen Widerstandsvermehrung im Stromkreise dann, wenn man starke Ströme verwenden will, oft recht hinderlich.

Galvanometer, als Voltmeter geaicht.

170 Jedes Galvanometer, das sich zum Messen (von schwachen) Strömen eignet, und welches als Stromstärkemesser, z. B. als Milliampèremeter geaicht ist, kann auch zur Messung von Spannungsdifferenzen und der elektromotorischen Kräfte benützt werden. Wenn jedoch die Anzahl der Volts, nach denen bekanntlich die obengenannten elektrischen Grössen gemessen werden, ohne weitere Rechnung abgelesen werden soll, d. h. wenn die Stromstärkeaichung zugleich als Spannungsaichung zu dienen hat, dann muss der Widerstand des Instrumentes einen ganz bestimmten Betrag ausmessen; oder es muss ein Zusatzwiderstand vorhanden sein, durch welchen auf einfache Weise der Widerstand des Galvanometers auf die erforderliche Höhe gebracht werden kann.

Aus dem Ohm'schen Gesetz, welches lautet:

$$S = \frac{E}{W},$$

wobei S die Stromstärke in Ampères, E die elektromotorische Kraft oder Spannungsdifferenz in Volts und W den Widerstand in Ohm bedeuten, ferner aus der Definition und dem im I. Theile erläuterten Zusammenhange dieser Maasseinheiten unter einander ergibt sich unmittelbar, dass in einem Galvanometer vom Widerstande = 1 Ohm nur dann eine Stromstärke von 1 Ampère verlaufen kann, wenn an dessen Klemmschrauben die Spannungsdifferenz von 1 Volt. Es würde also auf der Theilungsplatte eines in Ampères getheilten Galvanometers vom Widerstande eines Ohm's jeder Ampère-Theilstrich zugleich auch die Bedeutung eines Volt-Theilstriches haben.

Wir benützen allerdings in der Elektrotherapie und zu elektrodiagnostischen Zwecken keine eigentlichen Ampère-meter, sondern Milliampèremeter. In Bezug auf das Milliampère ergibt aber das Ohm'sche Gesetz, dass der Strom von einem Milliampère (0,001 A Stärke dann zu Stande kommt, wenn der elektrische Druck von einem Volt in einer Leitung von 1000 Ohm Widerstand Strom erzeugt. Haben wir also z. B. ein Einheitsgalvanometer, das 1000 Ω Widerstand hat, so kann jeder Milliampère-Theilstrich zugleich als Volt-Theilstrich gelten.

In der Elektromedicin kommen Spannungen in Anwendung, welche sich innerhalb der Werthe von Null und dreissig Volt bewegen; in sehr seltenen Ausnahmsfällen gehen dieselben, wie ich mir sagen liess, bis fünfzig Volt herauf. Die erforderliche Genauigkeit solcher Werthbestimmungen kann höchstens das Zehntelvolt sein, da die Polarisation der Elektroden jede grössere Genauigkeit illusorisch erscheinen lässt.

Dementsprechend sind auch die aus meinen Werkstätten seit 1883 hervorgehenden elektromedicinischen Voltmeter gebaut, d. h. es werden auf Bestellung alle drei Formen der Galvanometer: das Taschengalvanometer, das Einheitsgalvanometer und das Müller'sche Galvanometer ausser als Milliampèremeter auch als Voltmeter eingerichtet. Es kommt in diesem Falle zu den gewöhnlichen beiden Klemmschrauben *AB* (Fig. 82), *bc* (Fig. 83, 84, 85), endlich *ab* (Fig. 87) noch eine dritte Klemmschraube hinzu, welche in Fig. 91 — Oberansicht des zugleich als Voltmeter eingerichteten Einheits-

Galvanometers, Modell **a** v. Ziemssen-Edelmann — mit *d* bezeichnet ist.

171 Der Gebrauch dieser modificirten Galvanometer (Milliampère-Voltmeter) ist folgender:

Die Instrumente werden aufgestellt wie sonst; sollen sie als Stromstärke-Messinstrumente gebraucht werden, dann klemmt man die Zuleitungsdrähte in die erste und zweite Klemme (*cb* Fig. 91) ein und benützt keinen oder einen der Shunts 10 oder 100 — je nach Bedürfniss. Sollen aber Spannungen gemessen werden, dann muss man die Zuleitungsdrähte in der ersten und dritten Klemme (*cd* Fig. 91) festschrauben und ausserdem immer

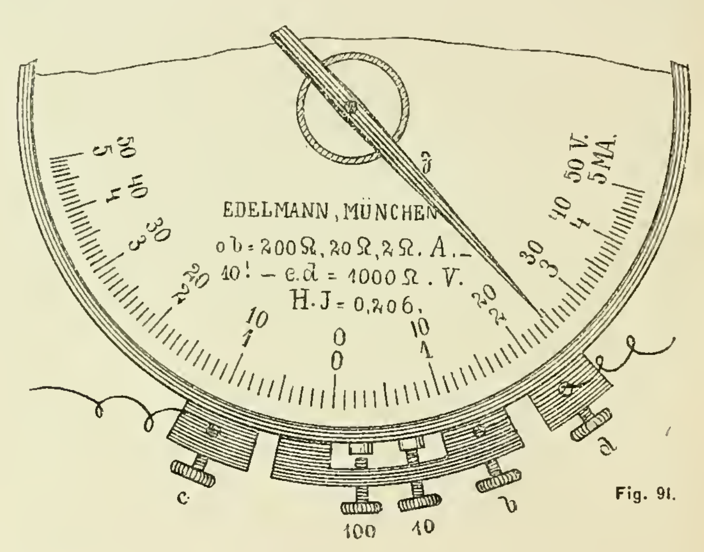


Fig. 91.

die zum Zweig $^1/_9$ gehörige Schraube *10* bis zu ihrem Contact hineinschrauben, wie dies auch in Fig. 91 angegeben ist.

Es befindet sich zwischen *b* und *d* ein nicht auf die Nadel des Galvanometers ablenkend wirkender Leitungsdraht, dessen Widerstand so abgeglichen ist, dass das Galvanometer zwischen *c* und *d* genau 1000 Ω hat, wenn zugleich der mit *10* bezeichnete Zweig die Empfindlichkeit des Galvanometers vermindert. In diesem Falle bedeutet, wie wir bereits wissen, jeder Zehntel-Theilstrich des Zifferblattes ein Milliampère; in einem Galvanometer von 1000 Ω Widerstand hat das Milliampère zugleich aber auch den Werth eines Volts;

wir würden z. B. die in Fig. 91 gegebene Zeigerstellung im Falle der Stromzuführung in *c* und *d* abzulesen haben als 24,3 V. Durch den Kunstgriff der Verwendung des Zweiges *10* in den drei Galvanometern ist also für die voltmetrischen Bestimmungen der erforderliche Messumfang erreicht.

Auf jeder Theilungsplatte sind, wie in Fig. 91, die Constanten des Galvanometers angegeben; die Inschrift besagt für das vorliegende Instrument:

Zwischen *cb* hat das Galvanometer, je nachdem man keinen, Shunt, *10* oder *100* schliesst — 200, 20 oder 2 Ohm Widerstand und ist so das Instrument ein Ampèremeter.

Bei geschlossenem Shunt *10*: Zwischen *c* und *d* hat das Instrument 1000 Ohm Widerstand und dient als Voltmeter. Die Aichung ist richtig bei der erdmagnetischen Horizontal-Intensität 0,206 cm. gr. sec.

In beistehender Figur 92 ist das Stromlaufschema für das in Fig. 91 gezeichnete Instrument skizzirt mit Angabe der Widerstände aller vorhandenen Leitungen. *G* sind die auf die Nadel wirkenden Galvanometerwindungen. Die Berechnung der als Shunts und Ergänzung zu verwendenden Widerstandswerthe ergibt sich aus den Paragraphen 49 und 60. Es muss hier bemerkt werden, dass durch ein Uebersehen bei der Correctur des Druckes die auf Seite 34 und 35 befindlichen Formeln fehlerhaft sind; dieselben müssen natürlich lauten:

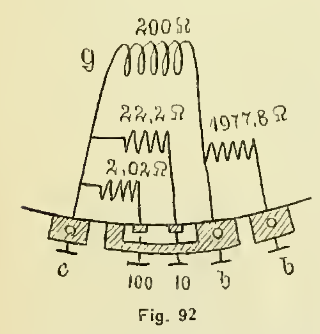


Fig. 92

$E_1 = S \times W$; $\Delta = S \times W$ Volt; $\Delta = S \times (W + w)$ Volt;
$\Delta = S \times (W + w + r)$ Volt; $E = S \times (R + W + w + r)$;
$\Delta = S \times (W + w)$ Volt.

Wie man endlich die voltmetrischen Galvanometer benützt, um die Klemmspannung und die elektromotorische Kraft eines Elementes, einer Batterie zu bestimmen, oder um die Spannungsdifferenz an zweien Puncten einer Stromleitung, z. B. an den applicirten Elektroden zu finden, ist in den Paragraphen 60 und 61 ausführlich erläutert.

Dr. Gärtner's elektrodiagnostischer Apparat.

172 Dieser nunmehr häufig in Anwendung befindliche Apparat ist in den Wiener medicinischen Jahrbüchern 1885 pag. 389 und 1886 pag. 161 ausführlich in Bezug auf Theorie, Construction und Anwendung beschrieben. Ich citire hier aus letzterer Arbeit:

Dr. Gärtner hat darauf hingewiesen, dass bei einer Schliessungsdauer (des constanten Stromes) durch mehrere Secunden die Widerstände der Haut und demgemäss auch die Stromintensität beträchtlichen Schwankungen unterliegen, und dass die Ablesung am Galvanometer, selbst wenn sie schon 2—3 Secunden nach der Zuckung erfolgt, zu grosse Zahlen ergeben muss, was man durch Widerstandsmessungen beweisen kann. Dies hat Herrn Dr. Gärtner veranlasst, einen neuen Apparat anzugeben, der den Strom nur sehr kurze, aber stets gleichdauernde Zeit hindurch wirken lässt und dabei doch die in Anwendung gekommene Stromintensität nach absolutem Maasse zu messen gestattet. Dieser neue Apparat setzt sich aus zwei Stücken zusammen: dem Pendelstromschlüssel und der Bussole, beide in Fig. 93 gegeben.

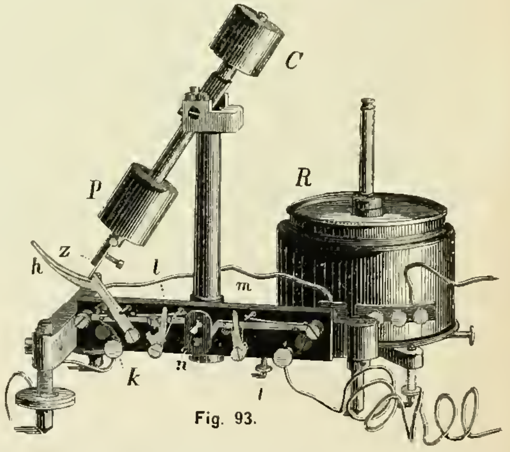


Fig. 93.

Der Schlüssel besteht aus einem 20 cm langen Pendel mit den Pendellinsen *P* und *C*. Die Linse *P* ist mit dem Pendel fest verlöthet, während *C* nur aufgesetzt ist und auch entfernt werden kann. Es wird dadurch möglich, mit demselben Schlüssel zweierlei Schliessungszeiten zu erzielen, eine kürzere, wenn *C* entfernt ist, und eine längere, wenn *C* aufgesetzt wird. Am unteren Ende der Pendelstange befindet sich die um ein Charnier drehbare Zunge *z*, welche durch eine Spiralfeder gegen das vorstehende Ende der Pendelstange leise gedrückt wird. Die Zunge *z* ist also nach rechts beweglich, nach links fest. Will man einen Stromschluss vorbereiten, so hebt man das Pendel gegen links, bis *z* in den Zahn des Hebels *h* einspringt. Dieser Hebel wird durch eine Feder in dieser Lage erhalten. Um einen Stromschluss aus-

zulösen, drückt man auf das vorspringende Ende des Hebels; das Pendel fällt ab. Die Zunge schlägt den Hebel *l* nach rechts, dadurch fällt ein dritter Hebel herunter und bewirkt Contact. Nun circulirt der Strom, bis die Zunge *z* an den Hebel *m* stösst. Dadurch wird ein mit *m* in Verbindung stehender Hebel herabgeworfen und der Strom wieder unterbrochen. Das Pendel könnte nun beliebig weiter schwingen, ohne weiter Stromschluss zu bewirken. Bei seiner zweiten Schwingung wird es aber durch den Hebel *l* arretirt.

Die Vorbereitung zum Stromschluss erfordert zwei Handgriffe: 1. Erheben des Pendels bis *h*, 2. Erheben der kleinen Handhabe *n*, wodurch alle Hebel einklinken.

Die Auslösung des Stromschlusses geschieht dann einfach durch Druck auf *h*.

Vor Beginn einer Untersuchung ist das Stativ mit Hilfe der Fussschrauben horizontal zu stellen. Die Einführung des Stromes in den Pendelschlüssel ermöglichen die beiden Klemmschrauben *k* und *t*.

Das Galvanometer *R* ist eine Modification des Einheitsgalvanometers, von dem es sich äusserlich nur unwesentlich unterscheidet. Seiner inneren Einrichtung nach weicht es davon in zwei Puncten ab. Es ist die Windungszahl eine beträchtlich grössere, und der glockenförmigen Magnetnadel ist behufs Erhöhung des Trägheitsmomentes ein Messingstück eingefügt. Das Instrument ist dadurch nicht mehr vollständig gedämpft. Ein Stromstoss, der durch die Windungen derselben hindurch geschickt wird, versetzt die Magnetnadel und den daran befestigten Zeiger in Schwingungen. Der Grenzwinkel der ersten Schwingung wird an der Scala der Theilungsplatte abgelesen.

Man erfährt so direct in absolutem Maass (Milliampères) die Intensität des Stromes.

Das Galvanometer ist nämlich mit Hilfe des Pendelschlüssels geaicht, derart, dass nach einander Ströme von 1, 2, 3 . . . Milliampères Intensität geschlossen wurden und der Punct, bis zu welchem die Nadel bei ihrer ersten Schwingung gelangte, notirt und später mit der entsprechenden Ziffer bezeichnet wurde.

Da der Schlüssel für zwei verschiedene Schliessungszeiten eingerichtet ist, so mussten auch zwei Scalen angelegt werden. Die eine befindet sich auf der rechten, die andere auf der linken Seite von Null. Der kürzeren Schliessungsdauer entspricht natürlich die

Scala mit den kleineren Intervallen und es müssen, um die Ausschläge des Zeigers auf der entsprechenden Seite der Scala zu erhalten, die Zuleitungsdrähte in den Galvanometerklemmen umgewechselt werden.

Mit Hilfe des Instrumentes können 0,5 Milliampères direct abgelesen, 0,1 mit Leichtigkeit geschätzt werden. Der Messumfang geht bei dem länger dauernden Stromschlusse von 0 bis 10 MA, bei dem kürzeren von 0 bis 30 MA.

Die einzelnen Theilstriche der, wie erwähnt, empirisch construirten Scala stehen alle fast genau gleich weit von einander ab, was darin seinen Grund findet, dass die Dauer des Stromschlusses sehr klein, die Schwingungsdauer der wenig gedämpften Nadel relativ gross ist. Dieser letztere Umstand bedingt es auch, dass ein sicheres und genaues Ablesen leicht erfolgen kann. Der Zeiger entfernt sich so langsam aus seiner Ruhelage, dass es nicht schwer fällt, ihm mit den Augen zu folgen und den äussersten Punct, bis zu welchem er an die Scala gelangt, genau abzulesen.

Ueber die Bussole ist noch zu bemerken, dass sie bezüglich ihrer Aufstellung und Instandhaltung genau so zu behandeln ist, wie jedes gewöhnliche Einheitsgalvanometer. Ausserdem ist dieses Instrument, den Scalen für die Schwingungsbögen gegenüber, noch mit einer dritten Aichung versehen, die das Instrument befähigt, wie ein gewöhnliches Einheitsgalvanometer gebraucht werden zu können. Auch die Shunts *10* und *100* zur Modification der Empfindlichkeit sind angebracht, welche jedoch, wenn das Instrument in Verbindung mit dem Pendelschlüssel verwendet wird, beide offen sein müssen.

Beiden Instrumenten ist ein kleines Handkästchen zum leichten Transport derselben beigegeben.

Widerstandsmessung am Körper mit der Wheatstone'schen Brücke.

173 Zu Zwecken der Diagnose wird es nicht selten nothwendig, die Werthe elektrischen Leitungswiderstandes am Körper zu bestimmen; man kann solches auf verschiedenem Wege erreichen, z. B. mit der Wheatstone'schen Brücke, von der wir in den Paragraphen 51—54 die Einrichtung und den Gebrauch im Allgemeinen kennen gelernt haben. Jedoch sind wegen der obwaltenden eigenthümlichen Um-

stände, z. B. wegen der Polarisation der Elektroden gewisse Vorsichtsmaassregeln geboten, auf welche im Laufe dieser Zeilen aufmerksam gemacht werden soll.

Von besonderer Wichtigkeit scheinen für uns die Widerstandsbestimmungen am menschlichen Körper, während er von einem constanten Strome gemessener Grösse durchflossen wird, eine Methode der Messung, die von Stintzing angegeben wurde.

Man schaltet als fraglichen Widerstand *W* (Fig. 17) in die Wheatstone'sche Brücke ausser dem Körpertheile *K* und den Elektroden (Contacten) e_1 und e_2 noch ein Einheitsgalvanometer *N* oder irgend ein anderes absolut geaichtes Galvanometer ein, wie in Fig. 94 gezeigt ist. An Stelle der Stromquelle *E* tritt ein elektrotherapeutischer Apparat zur Erzeugung constanter Ströme, nämlich ein Complex von Elementen, Stromwähler, Rheostat etc. Der den Körper durchfliessende Strom wird in *E* so modificirt, dass man im Galvanometer *N* die während der Application erwünschte Stromstärke angezeigt erhält. Gleichzeitig müssen aber auch die in der Wheatstone'schen Brücke enthaltenen drei Stöpselrheostate *ABC* so bewerthet werden, dass das Galvanoskop *G* stromlos ist. Auf bekannte Weise (§ 53) findet sich dann der Widerstandswerth der Leitung xNe_1Kc_2y. Um den Widerstand von *K* allein zu erfahren, muss man noch

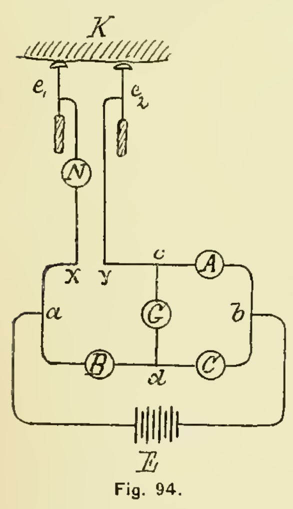


Fig. 94.

eine zweite Bestimmung machen, während man die Elektrodenflächen selbst mit einander in Contact bringt (bei gleicher Stromstärke, gleicher Benetzung und gleichem mechanischem Druck wie vorhin). Die Differenz beider Werthe ergibt den Widerstand des Durchströmten.

Bei dieser Messungsweise wirkt, wie man aus dem Stromlaufschema (Fig. 94) leicht ersehen kann, die Stromverbindung *aBCb* als Nebenschluss zum elektrotherapeutisch wirksamen Hauptstrome $axNe_1Kc_2ycAb$. Ist nun der Widerstand im ersten Stromzweige *adb* klein, so könnte man mit einem in *E* befindlichen gewöhnlichen elektrotherapeutischen Apparate wohl nur in den seltensten Fällen eine hinreichende Stromstärke in den Hauptstromkreis *aKb*

treiben und es wird aus diesem Grunde nöthig, in *B* und *C* grosse Widerstände zu verwenden. Dies erreicht man durch hohe Werthe in den Uebersetzungsrheostaten. In den gewöhnlichen Brücken, wie sie der Physiker oder Elektrotechniker verwendet, haben wir gewöhnlich die Werthe 1, 10, 100 Ω; für unsere Zwecke ist es dagegen rathsam, Brücken zu nehmen mit den Stöpseln 10, 100 1000 Ω, wie dies auch in § 53 beschrieben ist.

Als Galvanoskop in *G* (Fig. 94) muss man bei exacten Widerstandsmessungen ein sehr empfindliches Instrument nehmen. Manchmal verwendet man dazu ein astatisches Zeigergalvanometer, wie ein solches in Fig. 98 abgebildet ist, am Besten bedient man sich indessen eines in den Paragraphen 87—90 beschriebenen Spiegelgalvanometers sammt Scalenfernrohr.

174 Die Einrichtung der gewöhnlich an Stelle von $e_1 e_2$ (Fig. 94) verwendeten Elektroden wird hier füglich als bekannt vorausgesetzt. Deren Contactflächen bestehen zumeist aus Metall- oder Kohlenplatten diverser Form und Grösse, welche mit einem die Benetzungsflüssigkeit (Kochsalzlösung etc.) in grösserer Menge in sich aufnehmenden porösen Substanz, z. B. Flanell, Zündschwamm, Badeschwamm belegt und überzogen sind. Bei dieser Einrichtung tritt durch die elektrische Wirkung des constanten Stromes an der Grenze zwischen Metall und Flüssigkeit eine galvanische Polarisation (pag. 10) in den Elektroden selbst auf, welche die Genauigkeit der Widerstandsmessungen beeinträchtigt.

Diese Polarisation kann man nun erforderlichen Falles dadurch vollkommen vermeiden, dass man als Elektricitätsquelle in *E* nicht Batterien, die gleichgerichtete Ströme liefern, nimmt, sondern Inductionsapparate (siehe §§ 108—113), die alternirende Ströme (Wechselströme) erzeugen. In diesem Falle kann man natürlich kein Galvanometer am Orte *N* (Fig. 94) verwenden; es kann sich also dann blos um eine reine Widerstandsmessung ohne gleichzeitige Stromstärkemessung handeln; an Stelle des Galvanoskopes *G* hat nunmehr ein Instrument zu treten, welches die Anwesenheit oder vielmehr die Abwesenheit von Wechselströmen zu constatiren ermöglicht, also entweder ein Hörtelephon oder besser ein Weber'sches Dynamometer (Fig. 50). Mit letzterem Instrumente und einer guten Brücke ist man im Stande, unseren Widerstandsmessungen jeden beliebigen Grad der Genauigkeit zu verleihen.

Unpolarisirbare Elektroden mit Contactflächen constanten und messbaren Flächeninhalts.

du Bois-Reymond hat gefunden, dass bei dem Uebergang galvanischer Ströme zwischen Zinkvitriollösung und reinem Zink eine Polarisation nicht auftritt. Diese Erscheinung hat der genannte Gelehrte in seinen unpolarisirbaren Elektroden verwendet; dieselben wurden bekanntlich bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über Muskel- und Nervenströme benützt. Stintzing und ich haben ihre Form etwas abgeändert, so dass sie auch für manche Zwecke diagnostischer Forschung geeignet werden. Um nemlich streng wissenschaftliche Angaben in Bezug auf Widerstände, Stromdichten, Wirkung von Spannungs-, Ladungs- oder Stromintensitätsänderungen u. s. w. zu erzielen, ist es nicht nur nothwendig, die Polarisation in den Elektroden zu umgehen, sondern man muss stets auch im Stande sein, den Querschnitt der Elektroden anzugeben, d. h. man muss diejenige Fläche der Epidermis in Quadratcentimetern ausmessen oder umgrenzen können, in welcher der Uebergang der Elektricität in den Körper stattfindet. Dies kann mit Hilfe der nachstehend beschriebenen Elektroden geschehen, von welchen Fig. 95 den Querschnitt gibt.

175

H ist ein Hartgummirohr, an dessen unterem Ende ein scharfer Rand angedreht ist, welcher einen bestimmten Flächeninhalt der Epidermis *E* — meist genau 10 Quadratcentimeter — abgrenzt.

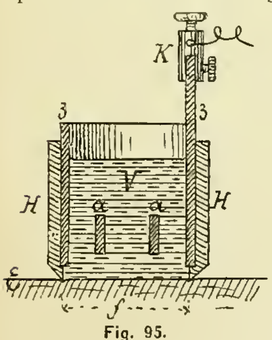


Fig. 95.

In's Innere des Hartgummirohres ist ein Zinkrohr *z* mit zwei Querstegen *a a* aus Zinkblech tief herab eingesenkt. Die Klemmschraube *K*, sowie die Zinkvitriollösung *V*, welche man mit einer Pipette einfüllen und wieder aufnehmen kann, so lange die Elektrode aufsitzt, vermitteln die Stromleitung. Diese Elektrode kann natürlich nur auf eine nahezu horizontale Fläche aufgesetzt werden; dies kann man zwar sehr häufig machen; andernfalls empfiehlt es sich, die Elektrode, während sie auf einer ausgehöhlten, mit Oel bestrichenen Metallfläche steht, mit möglichst wasserhaltiger und mit Zinkvitriol versetzter, durch Erwärmen geschmolzener Gelatine vollzugiessen und die Elektrode nach dem Erstarren der Gelatine zu verwenden. Beim Nichtgebrauch müssen die so präparirten Elektroden stets in einer seichten Schicht verdünnter Zinkvitriollösung stehen.

Widerstandsmessung vermittelst gleichzeitiger Anwendung eines Ampèremeters und eines Voltmeters.

d'Arman'sche Wippe.

176 In den Paragraphen 61 und 62 ist die Theorie und Anwendung dieser Messungsweise vollkommen gegeben. Man bedarf hiezu im Allgemeinen zweier absolut geaichter Galvanometer, von denen (Fig. 23) das eine G als Ampèremeter, das andere g als Voltmeter getheilt ist. Hat man in G die Stromstärke von S Ampères, in g jene von s Ampères — die Stromstärken lassen sich an meinen elektromedicinischen Voltmetern gleichzeitig mit der Spannung ablesen (Fig. 91) — und zeigt ausserdem das Voltmeter Δ Volt als elektrische Druckdifferenz an den Elektroden e_1 und e_2 an, dann ist der Widerstand der Strecke $e_1 K e_2 = \frac{\Delta}{S - s}$ Ohm (§ 62).

Kann man als Contacte keine unpolarisirbaren Elektroden (§ 175) anwenden, dann ist die Polarisation der Elektroden eigens zu bestimmen, indem man die Strombahn $aGEb$ (Fig. 23) öffnet und am Voltmeter g schnell den herrschenden und von den Elektroden ausgehenden Druck von S Volt bestimmt. Obige Formel ist dann zu modificiren:

$$\text{Widerstand } e_1 K e_2 = \frac{\Delta - \varepsilon}{S - s} \text{ Ohm.}$$

Auf Anregung von Herrn Dr. d'Arman am Ospitale civile in Venedig habe ich in meinen Werkstätten eine Wippe ausführen lassen, welche die Verwendung eines einzigen Galvanometers an Stelle von G und g (Fig. 23) ermöglicht. Es schaltet sich nämlich bei der einen Stellung der Wippe das Galvanometer in den Hauptstromkreis $aGEb$ als Ampèremeter am Orte G ein, und gleichzeitig tritt in den voltmetrischen Stromkreis agb ein Widerstand, der ebenso gross ist, wie der des nämlichen Galvanometers sammt dem Ergänzungswiderstand R, der dieses Galvanometer als Voltmeter brauchbar macht. In dieser Stellung der Wippe wird die Stromstärke S am Galvanometer abgelesen. Nun kippt man die Wippe in die andere Tiefstellung um; dadurch schaltet sich das Galvanometer in den voltmetrischen Nebenschluss agb; zu ihm tritt von selbst der erforderliche Ergänzungswiderstand, während an Stelle von G in den Hauptstromkreis ein Ersatzwiderstand kommt, der ebenso viel Ohm hat, als vorhin an dieser Stelle das

Galvanometer als Ampèremeter hatte. Man erreicht dadurch, dass in den Widerstands- und Stromstärkeverhältnissen des gesammten Leitungsschema (Fig. 23) durch solche Auswechslungen nichts geändert wird — und dass es also ganz gut möglich ist, nur ein Galvanometer zu benützen, wenn es nur die erforderliche Doppelscala meiner elektromedicinischen Ampère-Voltmeter (Fig. 91) hat. Hiebei muss immer der Shunt *10* geschlossen bleiben Das Stromlaufschema und die Einrichtung der d'Arman'schen Wippe ist nun durch die beistehende Figur 96 gegeben.

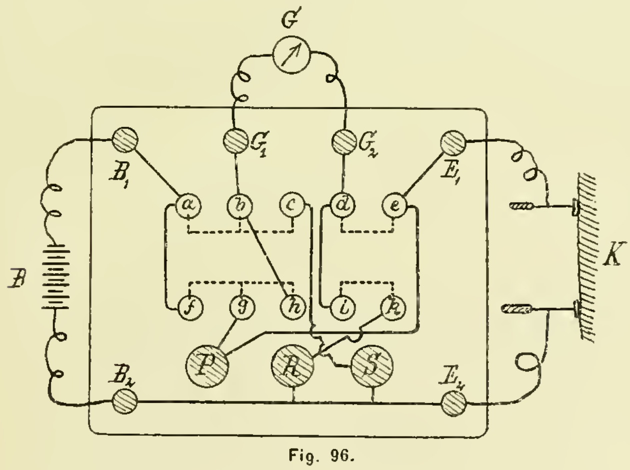


Fig. 96.

Auf einem Brettchen sind angebracht:

1. Die beiden Klemmen $B_1 B_2$ zur Einschaltung einer Batterie B für constante Ströme; dann die beiden Klemmen $G_1 G_2$ für das Ampère-Voltmeter G, endlich die beiden Klemmen $E_1 E_2$, von welchen die Leitungsschnüre zu den Elektroden ausgehen.

2. In dasselbe Brettchen sind in zwei Reihen zehn Quecksilbernäpfe *abcde* und *fghik* eingebohrt. Ueber diesen Quecksilbernäpfen bewegt sich das Wippenbrett, wodurch sich in der Tiefstellung auf der einen Seite — wie durch punctirte Linien gezeigt — *abc* und *de* mit einander verbinden; in der anderen Stellung tauchen in die Quecksilbernäpfe Kupferdrahtenden, welche die leitenden Verbindungen *fgh* und *ik* herstellen.

3. Ausserdem sind noch auf dem Brette drei Widerstandsrollen angebracht, von welchen *S* dem Widerstand des Voltmeters (Galvanometer plus Ergänzungswiderstand), *P* dem Widerstand des Galvanometers allein und *R* jenem Ergänzungswiderstande gleich ist, der

das Galvanometer zum Voltmeter verwandelt. Hat das Galvanometer z. B. 20 Ohm und soll das Milliampère gleichzeitig ein Volt bedeuten, dann ist $S = 1000\ \Omega$, $P = 20\ \Omega$ und $R = 980\ \Omega$ zu nehmen.

4. Endlich sind auf dem Brettchen noch unter sich verbunden: $B_1 a$; $G_1 b$; $G_2 d$; $E_1 c$; af; bh; di; gPe; $B_2 E_2 Rk$; cSB_2E_2. —

Die Stromverläufe sind nun folgende:

1. Galvanometer zum Stromstärkemessen: es tauchen die Kupferstifte in die Quecksilbernäpfe *abcde*. Hauptstromkreis: $BB_1 a b G_1 G G_2 d c E_1 K E_2 B_2 B$; der Voltmeter-Nebenschluss zweigt bei b ab und schliesst sich in B_2 wieder an; er ist $bcSB_2$.

2. Galvanometer zum Spannungsmessen: es tauchen die Kupferstifte des Wippenbrettchens in die Näpfe *fghik*. Hauptstromkreis: $BB_1 a f g P e E_1 K E_2 B_2 B$; der Voltmeterstromkreis zweigt sich von diesem im Puncte f ab; geht $fhbG_1GG_2dikRB_2$ und schliesst sich in B_2 wieder dem Hauptstromkreise an. Auch bei Anwendung der d'Arman'schen Wippe muss eine zweite Messung mit aneinandergepressten Contacten vorgenommen werden; die Differenz der so gefundenen Widerstände ist der Widerstand von K.

Das Arnheim'sche Thermoelektroskop.

177 Versuche,[1] welche von Dr. Arnheim in Petersburg angestellt wurden, haben gezeigt, dass der Gesunde an örtlich verschiedenen, jedoch gleich grossen Stellen der Oberfläche verschiedene Wärmemengen ausstrahlt; von ganz besonderem Interesse ist indessen der Nachweis Arnheim's, dass während verschiedener Krankheitsformen die Wärmedurchlässigkeit der Epidermis ganz wesentlichen Modificationen unterworfen sei; so ist z. B. bei gewissen Fiebererscheinungen die ausgestrahlte Wärmemenge pro Quadratcentimeter geringer als sonst, obwohl die Temperatur des Körpers selbst sich erhöht. Es treten hier also Erscheinungen auf, als ob die Epidermis oder unmittelbar darunterliegende Schichten bessere Wärme-Isolatoren würden, als beim normalen Wohlbefinden.

Um einerseits solche Verhältnisse einem eingehenden Studium zu unterwerfen, und um hauptsächlich auch diese Thatsachen zu

[1]) Zeitschrift für klin. Medicin, Bd. V, H. 3, und Lewandowski, Elektrodiagnostik pag. 314.

diagnostischen Zwecken benützen zu können, hat Dr. Arnheim sein elektrisches Thermoskop angegeben und meinen Werkstätten zur Ausführung überlassen. Einrichtung und Gebrauch dieses Instrumentes in nachstehenden Zeilen:

In den Paragraphen 117 bis 119 wurde gezeigt, dass in den thermoelektrischen Elementen und Säulen ein galvanischer Strom hervorgebracht wird, wenn man die Löthstellen auf einer Seite erwärmt. Diese Erwärmung kann auch durch ausgestrahlte Wärme hervorgebracht werden, wenn man die thermoelektrischen Paare nur in die Nähe einer Wärmequelle bringt. Schon Melloni und auch Andere haben diesen Versuch benützt, um ausserordentlich empfindliche Wärmemessapparate zusammenzustellen. Der Arnheim'sche Apparat ist diesen nachgebildet und besteht der Hauptsache nach aus einer vierzigpaarigen Eisen-Neusilber-Thermokette, die in Fig. 97 dargestellt ist. An einer Klemmschraube *a*

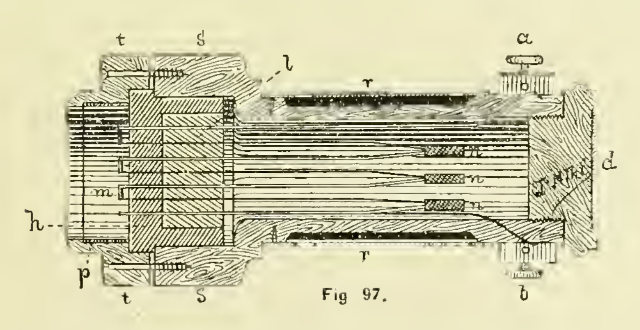


Fig 97.

ist ein Neusilberdraht angelöthet, welcher im Inneren des Apparates nach links verläuft. An seinem im rechten Winkel abgebogenen Ende ist ein Eisendraht — ebenfalls rechteckig gebogen — angelöthet, welcher bis nach *n* zurückgeht; hier ist wieder ein Neusilberdraht angelöthet (die Löthstelle ist mit einem kurzen Kautschukrohr überzogen), welcher nach links verläuft — wieder zu einer Löthstelle *m* mit einem zweiten Eisendraht. So folgen sich abwechslungsweise 40 Neusilberdrähte, welche von *a* angefangen nach links und 40 Eisendrähte, welche von *m* nach rechts verlaufen und in *m* und *n* zickzackförmig aneinandergelöthet sind. Der letzte Eisendraht endlich steht mit der Klemmschraube *b* in leitender Verbindung. Man ersieht hieraus, dass die 1te, 3te, 5te, kurz die unpaaren Löthstellen bei *m*, die paaren Löthstellen bei *n* liegen.

m und *n* sind nun die beiden Seiten einer Thermobatterie, welche sofort einen Strom abgibt und nach den Klemmschrauben *a* und *b* entsendet, wenn eine von ihren beiden Seiten wärmer ist, als die andere.

Die Stärke des aus einer Thermosäule kommenden Stromes ist innerhalb der gewöhnlichen Temperaturen und unter sonst gleichen Umständen (Widerstandsverhältnissen) proportional dem Wärmeunterschiede der beiden vorerwähnten Seiten *m* und *n*.

Damit nun die Thermosäule gegen unbeabsichtigte Erwärmung geschützt ist, ist sie in die Hartgummibüchse *h* mit Paraffin eingegossen, so dass nur die Löthstellen *m* hervorstehen und im übrigen in einem Holzrohr $t_1 s$ geborgen, welches mit dem Deckel *d* verschraubt wird. An jener Stelle, an welcher man die Thermosäule anfasst, ist die Holzbüchse ausserdem noch mit einem hohl liegenden siebartig durchlöcherten Metallrohr *r* überzogen. Die Zeichnung ist in halber natürlicher Grösse ausgeführt; der Apparat gleicht ausserlich einem Hörtelephon. Bei *m* werden die freiliegenden 40 (berusten) Löthstellen von einem etwa 15 mm hohen cylindrischen Holzrand überragt, der, auf die zu untersuchende Hautoberfläche aufgedrückt, 10 Quadratcentimeter derselben abgrenzt und die directe Berührung des Körpers mit den Löthstellen verhindert, so dass letztere nur durch Bestrahlung Seitens der ihnen gegenüberliegenden Epidermis erwärmt werden können.

Den Strom, der auf diese Weise erzeugt wird, leitet man mit Hilfe zweier, etwa einen Millimeter dicker und zwei Meter langer, wohlisolirter Kupferdrähte, welche einerseits in die beiden Klemmschrauben *a* und *b* der Thermosäule (Fig. 97), andererseits in die beiden Klemmschrauben des Galvanometers (Fig. 98) festgeklemmt werden, in das letztere über.

178 Das zum Arnheim'schen Apparate gehörige Galvanometer besteht aus den um einen parallelepipedischen Kupferdämpfer *S* gewickelten Drähten *K*. Der Strom, welcher diese Drähte durchfliesst, wirkt ablenkend auf das astatische Nadelpaar *m* (über) und *n* (innerhalb der Windungen). Beide Magnetnadeln sind unter sich fest verbunden, entgegengesetzt gerichtet magnetisch (vgl. Fig. 35 und § 77), mit dem Zeiger *z* versehen, der über einer auf der Platte *f* angebrachten Theilung schwingt — was man durch die Glasplatte *g* beobachten und ablesen kann — und an einem Coconfaden bei *t* aufgehängt. Die Schraube *l*, an welcher der Cocon-

179

faden angebunden ist, sitzt in einer Röhre *r*, die innerhalb der Büchse *h* verschoben werden kann. Die Schraube *s* gestattet, sie in jeder Höhe festzustellen. In der gezeichneten höchsten Stellung schwingt die Doppelnadel *mn* frei; löst man aber die Schraube *s*, drückt die Suspensionsröhre herab und zieht *s* wieder fest an, so drückt der unterste Rand von *r* bei *y* das Nadelpaar auf die Platte *f* und arretirt sie, wobei der Coconfaden locker wird und während des Transportes des Galvanometers gegen Bruch gesichert ist. Diese Einrichtung, das Einknüpfen eines neuen Fadens u. s. w. ist genau dasselbe, was wir bei dem Einheitsgalvanometer §§ 159 bis 161 bereits kennen gelernt haben.

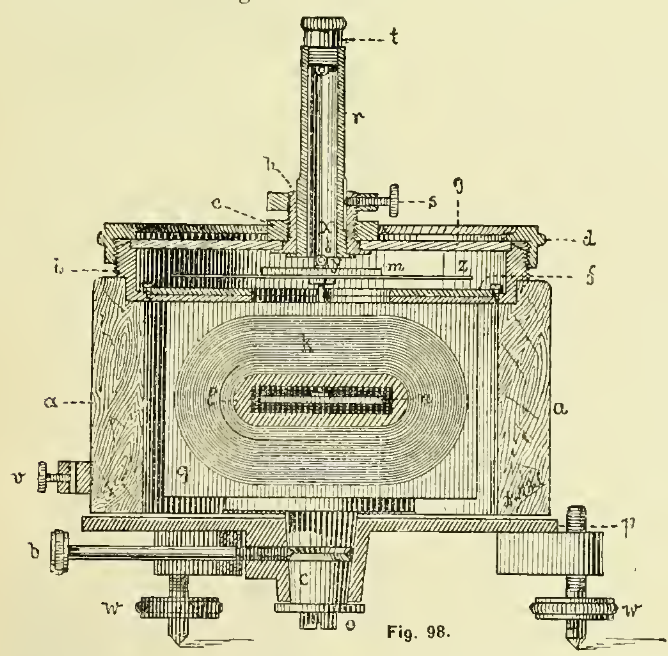


Fig. 98.

Das Aeussere des Galvanometers, seine Montirung innerhalb der Holzbüchse *a* und auf einem Dreifuss *pw* vermittelst des conischen Zapfens ist ebenfalls wie beim Einheitsgalvanometer.

Soll das Galvanometer benützt werden, so stellt man es auf eine feste Unterlage (Fensterbrett, Wandconsole etc.), zieht die Suspensionsröhre *r* in die Höhe, um die Nadel frei beweglich zu machen, löst die Arretirungsschraube *b* und dreht das Instrument im Zapfen *c*, bis der Zeiger auf Null der Theilung einspielt. Die Beseitigung der Torsion des Fadens wurde bereits pag. 120 gezeigt.

Eine dem Instrumente beigegebene Libelle, welche man auf die Glasplatte stellt, sowie eine ebenfalls beigegebene Deklinationsnadel dient zur Erleichterung der Horizontalstellung und zur Situirung des Instrumentes in die magnetische Nordsüdrichtung.

Hierauf verbindet man die oben erwähnten Leitungsdrähte mit Galvanometer und Thermosäule, wobei sich jetzt gewöhnlich ein Ausschlag der Galvanometernadel zeigen wird, da durch irgendwelche Zufälligkeiten die beiden Seiten der Thermosäule ungleich erwärmt sein werden. Man schraubt nunmehr den Deckel *d* (Fig. 97) ab, legt die Säule horizontal auf ein Tuch, bedeckt dieselbe mit einem zweiten Tuche und wartet, bis der Zeiger auf Null zurückgekehrt ist. Hierauf schraubt man den Deckel *d* vorsichtig fest (es darf sich kein neuer oder doch nur ein sehr kleiner Ausschlag am Galvanometer während dessen zeigen) und drückt nun die Oeffnung *h* auf die zu untersuchende Fläche mit mässigem Drucke auf. Sofort wird der Zeiger des Galvanometers sich zu bewegen beginnen und sich um so weiter von Null entfernen, je länger man die Säule bestrahlt werden lässt. Man beobachtet nun den Ausschlag des Zeigers immer in dem Augenblicke, wenn z. B. genau eine (oder eine halbe) Minute nach dem Aufsetzen der Säule verflossen ist.

Die zu untersuchende Hautstelle wird vor jedem Versuche durch Bedecken mit wollenen Tüchern vor zufälligen äusseren Erwärmungen oder Abkühlungen geschützt und erst im Augenblicke des Versuchs blosgelegt. Vor jedem Versuche muss auch die Thermosäule zwischen wollenen Tüchern so lange verweilen, bis ihre Erwärmungsdifferenzen verschwunden sind, d. h. bis die Galvanometernadel wieder auf Null einspielt.

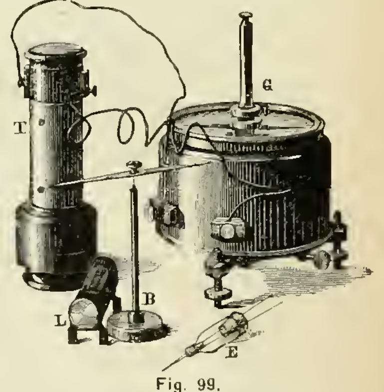


Fig. 99.

Fig. 99 zeigt die zum Arnheim'schen Thermoskope gehörigen Apparate in der perspectivischen Ansicht: *T* Thermosäule, *G* Galvanometer, *B* Deklinationsnadel, *L* Libelle. Dem Instrumente beigegeben sind noch zwei einzelne Thermoelemente, wie *E*, um directe Temperaturbestimm-

ungen vornehmen zu können. Das Ganze ist in einem leicht transportablen Handkästchen untergebracht.

Um aus den Angaben eines Arnheim'schen Apparates Folgerungen in Bezug auf jene Wärmemengen machen zu können, welche von der Epidermis ausgestrahlt werden — und um die Resultate, die man mit verschiedenen solchen Apparaten erhält, unter sich vergleichbar zu machen, ist es nothwendig, dass etwa nach folgenden Grundsätzen experimentirt wird. 180

Man muss zunächst eine bestimmte ausgestrahlte Wärmemenge als Einheit definiren, und ich schlage vor, dass man jene zur Grundlage der Messungen wählt, welche von 10 Quadratcentimeter einer Normalfläche in genau einer Minute an die Thermosäule vorbeschriebener Construction und Grössenverhältnisses überstrahlt, wenn die Thermosäule beiderseits um 1° C kälter ist als die Normalfläche. Diese Normalfläche soll bestehen aus gut polirtem Kupferblech, welches mit Russ von einer brennenden Wachskerze so dick angeraucht wird, dass der Metallglanz eben nicht mehr oder doch kaum mehr durch die Russschicht hindurch bemerkt werden kann. Zehn Quadrat-Centimeter der Normalfläche sind desshalb genommen, weil die Säule gerade diese Fläche abgrenzt. Um Luftwirbel und daraus folgende Wärmeübermittelungen im vorderen Raume der Thermosäule möglichst zu vermeiden, machen wir alle Versuche mit der Vorsicht, dass die ausstrahlende Fläche als die wärmere stets horizontal nach unten, also in allen Theilen über der Thermosäule liege. Die Normalfläche ist am Besten der Boden eines sog. Leslie'schen Würfels: eines mit Wasser gefüllten Blechgefässes, dessen Temperatur durch ein eingesetztes genaues Thermometer abgelesen werden kann.

Die nächste Aufgabe ist nunmehr, dass man das Instrument nach unseren Einheiten aicht und für dessen Angaben (Ausschlagswinkel der Nadel) eine Tabelle entwirft, aus welcher man später die Ergebnisse einer Messung in unseren Einheiten entnehmen kann.

Die beiden Ablesungen, welche wir bei jedem Versuche vornehmen müssen, sind:

a) die gemeinschaftliche Temperatur der beiden Seiten der Thermosäule vor dem Bestrahlen; ich will dieselbe Anfangstemperatur nennen. Um dieselbe zu finden, legt man, wie

schon früher angegeben, die Thermosäule vor jedem Versuche zwischen zwei wollene Tücher, bis der Temperaturausgleich beider Löthstellen vollkommen erreicht ist und legt dazu noch ein genaues Thermometer, welches abzulesen ist, unmittelbar bevor man die Säule den Tüchern entnimmt.

Jede Anfangstemperatur bildet eine horizontale Reihe der Tabelle; als Anfangstemperaturen nimmt man die ganzen Grade zwischen 10 und 25° C.

Die verticalen Colonnen enthalten die zu jedem Ausschlagswinkel zugehörigen Werthbedeutungen in unseren Einheiten. Beifolgend ist als Beispiel ein Stück einer solchen Tabelle abgedruckt. Hätte man z. B. eine Anfangstemperatur von 13° C und genau eine Minute nach dem Aufsetzen der Thermosäule einen Ausschlag von 3° bemerkt, so hat die Haut 0,65 unserer Einheiten ausgestrahlt.

Ausschläge

Anfangstemperaturen	1°	2°	3°	4°	5°...
10°	0,2	0,4	0,6	0,8	1 ..
11°	0,2	0,41	0,62	0,82	. .
12°	0,21	0,42	0,63	0,84	.. .
13°	0,22	0,44	0,65	.. .	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Die Art und Weise, wie man zur Aufstellung der Tabelle kommt, ergibt sich übrigens aus der Definition unserer Einheit ganz von selbst: man muss einen Leslie'schen Würfel berusen, dessen Wasser nach und nach erwärmen, auch die Anfangstemperaturen der Thermosäule durch Experimentiren in einem heizbaren Raume variiren und kann durch Bestrahlenlassen der unter dem Würfel angesetzten Thermosäule während einer Minute mehrere Reihen von Bestimmungen machen: jede für gleiche Anfangstemperatur und variirende Temperatur des Leslie'schen Würfels. Dann kann man die Resultate jeder Reihe in Curvenform auf Coordinatenpapier zeichnen, und verwendet als Abscissen die Temperaturdifferenzen des Würfels von der Anfangstemperatur

(die Anzahl unserer Einheiten), als Ordinaten die zugehörigen Ausschläge am Galvanometer. Diesen Curven sind dann sehr leicht die in die Tabelle einzusetzenden Werthe zu entnehmen.

Auf Verlangen wird übrigens in meinem eigenen Aichungslaboratorium oder in der elektrotechnischen Versuchsstation des polytechnischen Vereins in München die Tabelle zu jedem Instrumente hergestellt.

Temperaturbestimmung mit Thermoelementen.

181 Schon früher und neuerdings wieder von Dr. Benczur in Budapest sind Temperaturen, hauptsächlich kleine Temperaturdifferenzen vermittelst Andrücken einfacher Thermoelemente gemessen worden. Man bedarf zu solchen Experimenten zweier gleicher gegen einander zu schaltender Thermoelemente (§ 83) und eines sehr empfindlichen Spiegelgalvanometers mit kleinem Widerstande (dickdrähtigen Windungen), wozu sich am Besten die Wiedemann'sche Bussole (Fig. 50) sammt Scalenfernrohr eignet.

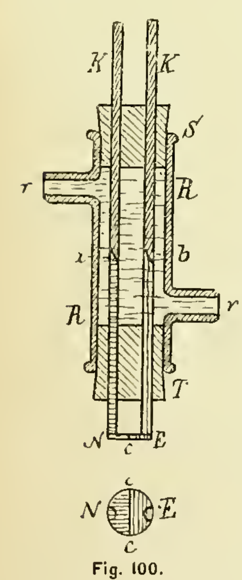


Fig. 100.

Die beiden Thermoelemente (Fig. 70) fertigt man aus Neusilber und Eisen und gibt ihnen zweckmässig die in Fig. 100 gezeichnete Construction. *KK* sind dicke kupferne Zuleitungsdrähte, an welche in dem Puncte *a* ein Neusilberdraht *N*, am Orte *b* ein Eisendraht *E* angelöthet ist. Am untersten Ende werden beide zu halbkreisförmigen Scheibchen flachgehämmert, rechtwinklig umgebogen und in *c* zusammengelöthet. Die Löthstellen *a* und *b* jedes Elementes befinden sich im Inneren einer mit angeblasenen Zu- und Ablaufstutzen versehenen Glasröhre. Indem man durch die Zwischenräume zwischen den Korken *S* und *T*, welche die Thermoelemente festhalten, einen Wasserstrom vermittelst Kautschukrohrverbindungen fliessen lässt, werden die Löthstellen *a b* auf gleicher Temperatur erhalten und diese wirken so nicht elektromotorisch.

Die Aichung dieser Thermoelemente sammt Galvanometer und Zuleitungsdrähten, welch' letztere natürlich stets die gleichen bleiben

müssen, damit der Widerstand im Stromkreise constant sei, kann dadurch gemacht werden, dass man die beiden gegeneinandergeschalteten Elemente mit ihren Löthstellen in Oelbäder von genau bestimmbarer Temperaturdifferenz (vermittelst Quecksilberthermometer) eintaucht und die zugehörigen Scalenablesungen notirt.

Apparat für Condensator-Entladungen.

182 In einer ausserordentlich interessanten (und auch, vom Standpuncte des Elektrotechnikers aus betrachtet, ausgezeichneten) Arbeit: »Untersuchungen über die physiologische Wirkung der Condensator-Entladungen«[1]) hat Dr. Dubois in Bern 1888 Forschungen mitgetheilt, denen unter vollster Berücksichtigung der bezüglichen elektrischen Ausmaasse in Bezug auf Spannung, Stromstärke, Elektricitätsmenge, Capacität etc., die Aufgabe zu Grunde lag, die physiologische Wirkungsweise von Batterieströmen einerseits und Condensator-Entladungen andererseits zu vergleichen und daraus den Zusammenhang beider aufzusuchen.

Es ist hier leider nicht der Raum vorhanden, eingehender über diese Untersuchungen zu referiren, jedoch seien hier die Resultate mitgetheilt, welche Dubois schliesslich in folgende Sätze zusammenfasst:

1. »Die Condensatorentladungen eignen sich sehr gut zur Reizung der Nerven und Muskeln. Dank ihrer kurzen Dauer geben die Entladungen die reine Zuckung ohne Schmerz, ohne elektrolytische Wirkungen«.

2. »Ein Condensator von der Capacität 1 Mikrofarad gibt die minimale Zuckung bei gleicher Elementenzahl, wie der galvanische Strom.[2]) Die Wirkung der Entladung ist also die gleiche, wie die des galvanischen Stromes, wenn der Condensator die gleiche Spannung hat, wie der Strom, d. h. wenn die Ladungsquantität so viel Mikrocoulombs beträgt, als der Strom Volts zählt«.

3. »Doch gilt dies nur für geringe Voltspannungen, namentlich für die niederste Voltspannung, welche galvanisch die minimale

[1]) Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern, Wyss' Verlag.

[2]) Der Vorschlag von Boudet, in der Elektrotherapie einen Condensator von 1 Mikrofarad zu benutzen, erweist sich somit als ganz zweckmässig.

Zuckung gibt. Bei grösserer Voltspannung tritt die Ueberlegenheit des Stromes gegenüber der Entladung wieder hervor, indem der Strom nicht nur bei der Schliessung, sondern auch während seiner Dauer wirkt (Kathodenschliessungstetanus). Die Entladung dagegen ist immer kurz dauernd und kann nicht tetanisiren«.

4. »Bei geringerer Capacität als 1 Mikrofarad wird die Wirkung einer Entladung beeinträchtigt. Sinkt sie auf 0,004 Mikrofarad, so bleibt jede Wirkung aus, auch wenn die Ladungsbatterie eine Spannung von 70 Volts hat«.

5. »Die Minimal-Zuckung kann bei jeder (galvanisch wirksamen) Spannung eintreten, sowohl bei 7 als bei 70 Volt. Ist die Spannung gross, so darf die Capacität resp. Quantität sehr klein sein. Ist die Spannung geringer, so muss der Condensator mehr Capacität haben, d. h. mit grösseren Quantitäten geladen werden«.

6. »Die Nothwendigkeit, bei abnehmender Voltspannung die Ladungsquantität zu vermehren, hat ihren Grund in der eigenthümlichen Form der Entladung. Der Verlauf der Entladung« (vgl. § 122) »bringt es mit sich, dass ein guter Theil der Elektricitätsmenge unter zu geringem Potential abfliesst. Je geringer die Voltspannung ist, desto grösser ist die Menge, die physiologisch unverwerthet bleibt«.

7. »Berechnet man die wirksame Quantität, so zeigt sich, dass der Nerv, resp. Muskel auf eine Quantität von 0,280 bis 0,560 Mikrocoulomb reagirt«.

8. »Die Dauer der Entladung ist eine sehr kurze. Bei 70 Volt ist die Dauer 70, bei 9,8 Volt 261 Milliontel Secunden. Die Verlängerung der Dauer von 70 auf 261 genügt, um die Entladung von 9,8 Volt ebenso wirksam zu machen, wie die Entladung von 70 Volt. Beide Entladungen geben die gleiche minimale Muskelzuckung«.

9. »Kranke Muskeln im Zustande der Entartungsreaktion reagiren ebenfalls auf Condensatorentladungen (mit Vorwiegen der Anodenschliessungszuckung, wenn diese Erscheinung für den galvanischen Strom eintritt). Die Quantität muss aber eine viel grössere sein, als beim normalen Muskel, circa 1000 Mal grösser«.

10. »Während gesunde Muskeln auf Entladungen reagiren, deren Dauer etwa $^1/_{10000}$ Secunde beträgt, bedarf der kranke Muskel einer Entladungsdauer von circa $^1/_{1000}$ bis $^5/_{100}$«.

Die Erläuterung der in diesen Sätzen enthaltenen elektrotechnischen Ausdrücke und Begriffe sind im ersten Theil dieses Buches enthalten. —

Zur Anwendung von Condensator-Entladungen eignet sich der nachfolgend beschriebene und von Dr. de Watteville-London in vorliegender Constructionsweise in meinen Werkstätten bestellte Apparat, der in Fig. 101 im Schema, in Fig. 102 in perspectivischer Ansicht dargestellt ist.

Fig. 101.

183 In einem Holzkasten, der dem Apparate als Fussbrett dient, ist ein Condensator C mit der Capacität von 1 Mikrofarad untergebracht. H ist der Hebel eines Oscillators, der, was seine Antriebsweise durch eine Batterie B, Elektromagnet M, Correctionsschraube m etc. anbetrifft, dem in §§ 111—113 beschriebenen Doppelunterbrecher vollkommen gleich ist. q ist ein Laufgewicht, p und n zwei Spannfedern, durch welche drei man die Oscillationsdauer (vgl. hier besonders § 112) verändern kann. Will man Einzelentladungen haben, so wird der Betriebsstrom, der durch die Klemmschrauben ef dem Apparate zugeführt wird, durch den Vorreiber i unterbrochen, und der Hebel bei q mit der Hand hin- und herbewegt.

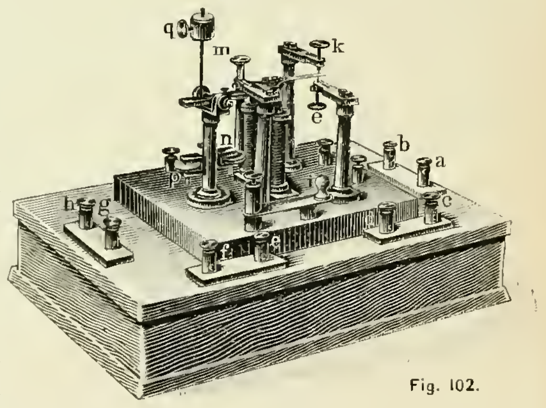


Fig. 102.

Mit diesem Hebel bewegt sich die an demselben befestigte, jedoch von ihm isolirte Metallfeder z, welche sich abwechselnd an die Contacte e_1 und k anlegen kann. Diese Feder steht durch den Draht D in leitender Verbindung mit dem einen Belege des Condensators C. Am Apparate sind ausser den Klemmschrauben ef

für die Betriebsbatterie des Unterbrechers noch folgende Klemmen angebracht: *ab* für die Elektroden *L*, *cd* für ein Voltmeter *V* und *gh* für jene Stromquelle *E*, mit welcher der Condensator geladen werden soll. Als solche muss eine mehrelementige Batterie für constanten Strom nebst Stromwähler genommen werden. Im Apparate sind noch folgende Leitungen angelegt: *hk*; $e_1 a$; *C* durch *x* mit *b* und *g*; *gc*; *dh*.

Die Wirkungsweise des Apparates ist nun folgende: Die Pole *h* und *g* stehen stets in Verbindung mit dem Voltmeter, so dass hier, wenn überhaupt ein solches eingeschaltet ist, fortwährend die Spannung der Batterie *E*, also auch die ihr gleiche des geladenen Condensators, abgelesen werden kann. Steht die Zunge *z* in Contact mit *k*, so strömt aus der Batterie auf den Wegen *hkzDC* und *gxC* den beiden Belegen des Condensators Elektricität zu; schwingt der Hebel zurück, so dass der Contact ze_1 eintritt, dann strömt diese Elektricität auf den Leitungen $CDze_1aL$ und *CxbL* zu den Elektroden *L* und kommt hier in dem dazwischen befindlichen Körper *K* zum Ausgleiche.

Edelmann's absolut geaichter Inductionsapparat, [Faradimeter].[1])

Bis jetzt wurden die Inductionsströme (faradischen Ströme) **184** verwendet, ohne dass man irgend ein wissenschaftlich definirbares Ausmaass derselben hatte. Diesem, der Wissenschaft durchaus nicht entsprechenden Zustand soll durch das nachstehend beschriebene Instrument abzuhelfen versucht werden.

Im ersten Theile des Werkes (§§ 108, 109) ist über die Erzeugung der Inductionsströme gesprochen; in § 110 findet man Angaben über den Verlauf der Inductionsstösse in Bezug auf Stromstärke und Zeit, wovon Fig. 62 ein Bild gibt. Wir ersehen aus dieser Figur, dass die Elongationen der Oeffnungsinductionsstösse *BD* gegen jene der Schliessungsinductionsstösse bedeutend präponderiren. Es findet dies in so hohem Grade statt, dass man nachzuweisen im Stande ist, es sei rücksichtlich der physiologischen Wirkung

[1]) Zuerst publicirt von Herrn Geheimrath von Ziemssen auf der Naturforscherversammlung in Heidelberg 1889.

der Oeffnungsinductionsstoss wohl unter allen Umständen allein in Betracht zu ziehen. Während des Verlaufs der Entladung finden eben ganz ähnliche Verhältnisse statt, wie solche Dubois in Bern bezüglich der physiologischen Verwerthung der Voltspannung bei Condensatorentladungen findet und am Schlusse des 10ten Satzes pag. 151 gibt. Es ist dies um so einleuchtender, als auch zwischen dem Verlaufe des einzelnen Inductionsstosses und der einzelnen Condensatorentladung eine sehr grosse Aehnlichkeit vorhanden ist. Hier wie dort steigt die Spannungsdifferenz ganz plötzlich zu einem Maximalwerth an und sinkt dann sehr rasch auch wieder auf physiologisch unverwerthbare Grössen herab. Die Uebereinstimmung der physiologischen Wirkung von sehr kurz geschlossenen constanten Strömen, Condensatorentladungen und Inductionsstössen kann man übrigens sehr leicht nachweisen, wenn man einen dreifachen Unterbrecher verwendet, mit welchem man die Impulse dieser drei Stromquellen in gleicher Oscillationsdauer (oder auch vereinzelt) geben kann. Sorgt man dafür, dass (unter sonst gleichen Umständen) die elektromotorische Kraft der constanten Batterie, die Spannungsdifferenz eines genügend grossen Condensators und der Gipfel der elektromotorischen Kraft des einzelnen Inductionsstosses gleichen Werth und gleichgerichtete Polarität haben, so ist es nach meiner eigenen bisherigen Erfahrung keinem Menschen normalen Gesundheitszustandes möglich, aus der Reaction oder nach dem Gefühle die drei Stromquellen von einander zu unterscheiden. (Bei solchem Versuche muss eine zweite Person in wirrer Reihenfolge die bezüglichen Stromschlüsse machen.)

Aeusserst wünschenswerth wäre es natürlich, dass in dieser Richtung weitere Versuche angestellt würden. Ich selbst habe hiezu keine Zeit und bin auch kein Physiologe.

Wie aus den vorstehenden Zeilen hervorgeht, hat sich die absolute Aichung des Faradimeters auf die Angabe des Maximums der elektromotorischen Kraft zu beziehen, welche während jedes Inductionsstosses auftritt. Wollte man die Werthänderung der elektromotorischen Kraft während eines Inductionsstosses graphisch darstellen, so würde sich natürlich dieselbe Form ergeben, wie in Fig. 62: der Widerstand bleibt unverändert, desshalb sind die elektromotorischen Kräfte im Stromkreise den jeweiligen Stromstärken proportional.

Die Einrichtung des Faradimeters, das in Fig. 103 in perspectivischer Ansicht gegeben ist, entspricht vollkommen der Skizze in Fig. 63; jedoch ist hier — und zwar wegen der magnetischen Wirkung des Eisenkernes in der Primärrolle P — das Ganze in zwei örtlich von einander entfernte Gruppen getheilt. Der eine Theil, als Wandconsol montirt, enthält ein Galvanometer G, die nöthigen drei Chromsäure-Elemente ABC von bekannter Form und einen

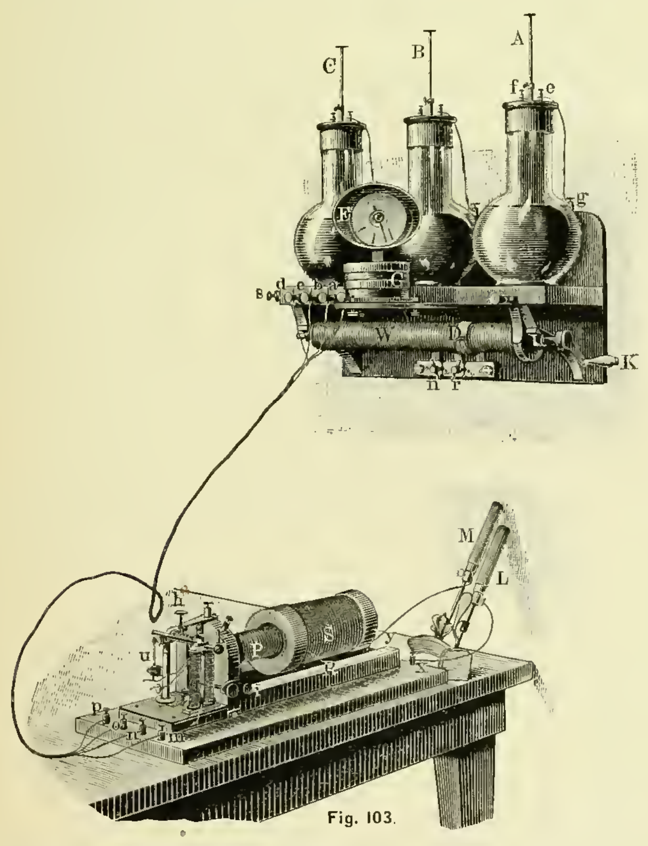


Fig. 103.

Rheostaten W. Der zweite Theil, auf dem Tisch stehend, enthält den Unterbrecher h und das Inductorium S. Beide Theile sind durch ein viertheiliges Kabel mit einander in Verbindung. Das Element C entspricht der Batterie B in Fig. 63; es dient lediglich zum Betrieb des Doppelunterbrechers (§ 113); die Leitungen dp und co (vier schwarze Schraubenköpfe — die Enden der gleichen Leitung haben gleichfarbige Ueberspinnung) führen den Strom

herunter. Es entsprechen sich überhaupt in der Fig. 63 und 103 folgende Buchstaben:

Fig. 63	*B*	*k*	*f*	*Q*	*p*	*P*	*J*
Fig. 103	*C*	*h*	*u*	*l*	*i*	*AB*	*PS*

Die Elemente *A* und *B* (hintereinandergeschaltet) liefern den Strom (gelbe Klemmen) durch die beiden Leitungen *bn* und *am* zur primären Rolle. Jedoch geht dieser Strom, um seine Intensität auf eine bestimmte Stromstärke einstellen zu können, ausserdem durch einen bifilar und schraubenförmig aufgewickelten Nickelindraht *W*, dessen Widerstand erforderlichen Falles noch durch die Stöpsel *ur* vermehrt werden kann. *u* ist dem Widerstande des ganzen Drahtes von *W* gleich, *r* ist das Doppelte. Dreht man an der Kurbel *K*, so gleitet der Schleifcontact *D* je nach Drehung rechts oder links weiter und man verändert so nach Belieben den Widerstand im primären Stromkreis, bis dessen Intensität einen ganz bestimmten Werth (0,4 A) erreicht, der bei niedergedrücktem Stromschlüssel *s* an den Marken des Galvanometers *G* genau bestimmt und von Zeit zu Zeit ebenso controlirt werden muss. Das Galvanometer *G* ist mit Ablesespiegel (Fig. 86) versehen, dessen Construction und Aufstellung in § 158 gegeben.

Das Inductorium selbst gleicht dem von du Bois-Reymond angegebenen und längst bewährten Schlittenapparat[1]) vollkommen; jedoch ist entlang der Schiene *R* statt eines willkürlichen Maassstabes eine Scala angebracht, die man vermittelst eines Zeigers ablesen kann; letzterer verschiebt sich gleichzeitig mit der Secundärrolle *S*. Auf dieser Scala sind für alle Stellungen der Secundärrolle zur Primärrolle die Beträge in Volt angegeben, bis zu welchen die Oeffnungsinductionsstösse ansteigen, wenn in der Primärrolle ein Strom von 0,4 A unterbrochen wird. Der secundäre Strom erscheint an den beiden (weissen) Klemmschrauben *xy* und wird von da zu den Elektroden *MN* geleitet.

Die Anwendung des Faradimeters ist nun folgende: Man stellt das Galvanometer *G* auf Null, schiebt die Stangen *ABC* der Elemente herab und damit die Zinkplatten in die Chromsäurelösung (100 Wasser, 5 krystallisirte Chromsäure), nachdem man alle die nöthigen Drahtverbindungen *dp, co, bn, am, xL, yM* hergestellt hat.

---

[1]) Lewandowski, Elektrodiagnose und Elektrotherapie pag. 124

Hierauf stellt man den Unterbrecher auf die erforderliche Anzahl von Unterbrechungen (§ 112), drückt auf den Stromschlüssel *s* und dreht an der Kurbel *k* (benützt auch *nr*), bis die Nadel des Galvanometers auf die Marke für normale Stromstärke einspielt. Endlich verschiebt man die Inductionsrolle *S*, bis der daran befindliche Zeiger den gewünschten Maximaldruck jedes Inductionsstosses in Volt anzeigt. Nun kann man die Elektroden appliciren.

Von Zeit zu Zeit controlirt man die Stromstärke in *G* und stellt sie mit *K* wieder genau. Wenn das Instrument nicht mehr gebraucht wird, klemmt man die Führungsstangen *ABC* wieder hoch.

Bezüglich der Herstellung der Scala *R* (Aichung des Faradimeters), welche vermittelst eines sehr rasch functionirenden Federschlüssels am Quadranten-Elektrometer (Fig. 53) und Weber'schen Dynamometer (Fig. 50) durchgeführt wird, bin ich bereit, Fachgelehrten jede erwünschte Aufklärung zu geben und die nöthigen Experimente in meinem Laboratorium zu zeigen; die eingehende öffentliche Beschreibung dieser schwierigen Arbeit würde aber über den Rahmen und die Absicht dieses Buches hinausgehen.

Dr. Mund's Messapparat für Franklinisation.

185 Bekanntlich wird auch die von Scheibenelektrisirmaschinen und hauptsächlich von Influenz-Maschinen erzeugte (sog. statische) Elektricität zu therapeutischen Zwecken (Franklinisation) benützt. Ueber die hiebei verwendeten Maschinen und Apparate findet man Angaben in Lewandowski's Elektrodiagnose und Elektrotherapie pag. 18 ff., Litteratur ebenda pag. 322 ff., sowie in einigen neueren Publicationen von Prof. Lewandowski, z. B. Wiener klin. Wochenschrift 1888 Nr. 8—10, von Hofrath Stein, Dr. Mund-Reichenhall etc. In dem vorliegenden Buche kann indess nur von der hiebei angewendeten elektrotechnischen Wissenschaft und den zugehörigen Messungen abgehandelt werden, über welches Thema mir Herr Dr. Mund Folgendes brieflich mitzutheilen die Güte hatte, wofür ich ihm hiemit meinen herzlichen Dank ausspreche. Ich citire wörtlich:

»Die Messung statischer Elektricität gestaltet sich verschieden, je nachdem wir

a) direct mit der von der Maschine gelieferten Elektricität arbeiten (Ladung der Kranken auf dem Isolirschemel; Anwendung der aus der Spitzenelektrode ausstrahlenden Elektricität etc.) oder

b) mit Zwischenschaltung von Condensatoren operiren«.

»Im ersten Falle ist es nöthig, die Wirksamkeit der verwendeten Maschine zu kennen. Diese Wirksamkeit setzt sich zusammen aus der Elektricitätsmenge, welche sie in der Zeiteinheit liefert und dem Potentiale, bis zu welchem sie einen isolirten Leiter lädt, der mit einem ihrer Pole (bei abgeleiteten Gegenpolen) in Verbindung ist. Beide Factoren geben die elektrische Energie der Maschine pro Zeiteinheit. Um die während einer Sitzung auf den Körper übertragene elektrische Arbeit zu bestimmen, muss man noch die Dauer der Sitzung als dritten Factor einsetzen«.

»Die grösstmögliche von der Maschine pro Zeiteinheit gelieferte Elektricitätsmenge hängt nun ab von der während einer Umdrehung entwickelten Menge und von der Zahl der Umdrehungen, welche die Maschine in maximo in der Zeiteinheit zu machen gestattet«.

»Kennt man daher bei einer Elektrisirmaschine die Menge der Elektricität, welche sie während einer Umdrehung zu liefern vermag, so würde es genügen, die Umdrehungszahl pro Zeiteinheit zu ermitteln. Diese Bestimmung würde aber in praxi nicht gut ausführbar sein«.

»Zweckmässiger würde es sein, eine grosse Lane'sche Maassflasche von bekannter Capacität und einer bestimmten Schlagweite mit den Polen der Maschine zu verbinden, und nun zu constatiren, wie viele Entladungen der Flasche in der Zeiteinheit erfolgen. Bringt man dann an der Maschine noch ein Zählwerk an, welches die Umdrehungszahl der Maschine zu ermitteln gestattet, so könnte man aus beiden Zahlen leicht die von einer gegebenen Maschine während einer Umdrehung entwickelte Elektricitätsmenge berechnen. Nachdem aber diese Menge einmal bestimmt ist, würde es für die betreffende Maschine späterhin genügen, die wahrend einer Sitzung gemachte Tourenzahl zu ermitteln, um ein Maass für die während der Sitzung verbrauchte Elektricitätsmenge zu erhalten«.

»Da wir für eine jede Maschine diese Menge als nahezu constant ansehen können, so wäre es zweckmässig, wenn die Mechaniker, welche Influenzmaschinen verfertigen, bei einer jeden derselben die von ihr gelieferte Elektricitätsmenge bestimmen und eine diesbezügliche Notiz einer jeden Maschine mit auf den Weg geben würden. Natürlich würde es sich dann auch als nothwendig herausstellen, dass allgemein Maassflaschen von genau gleicher Capacität und überall die gleiche Schlagweite zur Messung benutzt würden«.

»Die Zahl der in der Zeiteinheit, z. B. 1 Minute, erfolgenden Entladungen könnte ganz gut durch eine rotirende beruste Trommel, auf welche die Entladungen übergehen, ermittelt werden. Wird die Trommel von der Kurbel aus, welche die Maschine in Bewegung setzt, ebenfalls mitgedreht, so hätten wir ausserdem noch den Vortheil, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel in einem constanten Verhältnisse zur Umdrehungszahl der Maschine stehen würde, was die Rechnung wesentlich vereinfacht«.

»Die Grösse des mit einer Maschine erreichbaren Potentiales lässt sich annähernd aus der maximalen Funkenlänge«, etwas genauer mit geeigneten Elektrometern ermitteln. Ueber den Zusammenhang zwischen Spannung in Volts und Ueberschlagsweite im Funkenmikrometer nimmt man folgendes an:

	Millimeter							
Einer Funkenlänge von	0,18	0,7	5	12,2	15,6	16,5	17,1	18,8
entspricht eine Spannung von	1000	2000	5000	9000	12000	13000	14000	15000
	Volt.							

»Es ist aber dabei zu bedenken, dass das Potential für eine gegebene Maschine durchaus keine unter allen Verhältnissen constante Grösse darstellt, sondern dass dasselbe wesentlich abhängig ist von dem Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft und vor Allem von Form und Capacität des mit der Maschine verbundenen Leiters.«

»Ceteris paribus wird man mit einer und derselben Maschine ein um so höheres Potential erzielen können, je trockener die Luft der Umgebung ist und je mehr die Form des zu elektrisirenden Leiters sich der Kugelgestalt nähert«.

»Je feuchter die Luft, je eckiger resp. spitzer der Leiter, desto niedriger wird das erreichbare Potential — vorausgesetzt dass die Elektricitätsmenge, welche die Maschine in der Zeiteinheit zu liefern vermag, nicht gross genug ist, um den unter solchen Verhältnissen gesteigerten Elektricitätsverlust sofort wieder zu ersetzen. Ist dagegen die Maschine so ergiebig, dass dieser Elektricitätsverlust sofort wieder ersetzt wird, so lässt sich auch bei relativ feuchter Luft und spitzigen Leitern ein hohes Potential erzielen«.

»Die äusserste Grenze des Potentials, welches eine Maschine selbst unter den günstigsten Verhältnissen nicht zu überschreiten

vermag, wird durch die kleinste Entfernung entgegengesetzt elektrischer Theile und die Isolirfähigkeit des dazwischen befindlichen Materials gegeben. Sobald diese Grenze erreicht werden sollte, würde sofort eine Selbstentladung innerhalb der Maschine stattfinden müssen«.

»Bei gleicher Construction werden daher a priori Maschinen mit grossem Scheibendurchmesser höhere Potentiale zu liefern vermögen, als solche mit kleineren Scheiben«.

»Die Erzielung eines möglichst hohen Potentiales ist nun besonders wünschenswerth bei der allgemeinen Franklinisation oder dem sog. elektrostatischen Luftbade. Denn es liegt auf der Hand, dass die Wirkung auf den Körper desto intensiver ausfallen muss, je stärker er geladen, d. h. zu einem je höheren Potentiale er elektrisirt worden ist«.

»Selbstverständlich muss eine Maschine, wenn sie bezüglich des Potentiales ihrer theoretischen Grenze (s. o.) nahe kommen will, auch in der Zeiteinheit eine genügend grosse Elektricitätsmenge liefern, um den beständig stattfindenden Elektricitätsverlust sofort zu ersetzen resp. übercompensiren zu können. Eine für den vorgedachten Zweck besonders gut geeignete Maschine muss aber nicht nur einen grossen Scheibendurchmesser, sondern auch eine grosse nutzbare Oberfläche, sowie eine möglichst grosse Rotationsgeschwindigkeit besitzen«.

»Bei der Verwendung der aus metallischen Spitzen ausstrahlenden Elektricität kommt ausser den vorgenannten Momenten noch als äusserst wichtiger Factor die Entfernung der Spitze von der Körperoberfläche hinzu. Cet. par. ist die Wirkung um so stärker, je näher die Spitze herangebracht wird. Es ist aber ferner noch zu berücksichtigen, ob die mit der Spitze zu elektrisirende Körperoberfläche trocken oder feucht, ob sie mit schlecht leitenden Stoffen (Haaren, Kleidern etc.) bedeckt oder frei ist. Je nachdem das eine oder andere der Fall, wird auch die Wirkung sich verschieden gestalten. Von einer genauen Messung all' dieser Nebenmomente kann aber selbstverständlich keine Rede sein«.

»Etwas günstiger gestalten sich die Verhältnisse bei Application einer mit Flanell überzogenen Metallplatte. Hier kann man einen ungefähren Anhalt für die Stärke der Einwirkung gewinnen, wenn man ausser der Ergiebigkeit der Maschine (d. h. hier der pro Zeiteinheit gelieferten Elektricitätsmenge) noch die Grösse der Platte

und die Dicke des Flanelles in Betracht zieht. Grosse Genauigkeit wird man aber auch hier nicht erreichen«.

»Bei der Elektrisation mittelst einzelner auf die Haut überspringender Funken kommt selbstverständlich wieder die Entfernung der (kugelförmigen) Elektrode von der Haut, sowie die elektrische Capacität der Elektrode in Betracht. Hierunter ist aber nicht nur die Capacität der dem Körper zunächst befindlichen Kugel, sondern auch die Capacität des gesammten Leitersystemes, aus welchem der mit ihr verbundene Maschinenpol gebildet ist, zu verstehen, deren Bestimmung auf Schwierigkeiten stösst«.

»Wesentlich anders liegt dagegen die Sache, wenn wir die Elektricität der Maschine nicht direct verwenden, sondern mit zwischengeschalteten Condensatoren operiren. Diese Art der Anwendung beschränkt sich allerdings vorwiegend auf die Fälle, wo wir motorische, eventuell auch secretorische Nerven resp. Muskeln zu erregen beabsichtigen; aber gerade in diesen Fällen ist ja das Bedürfniss nach allgemein vergleichbaren Maassen am grössten«.

»Zur Erreichung dieses Zieles müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die verwendeten Condensatoren müssen überall genau die gleiche elektrische Capacität besitzen; resp. ihre Capacität ist durch Maassangabe in Mikrofarads anzugeben.

2. Es muss ferner die Möglichkeit gegeben sein, diese Condensatoren innerhalb genau messbarer Entfernungen (Schlagweiten) zu entladen.

3. Die Bedingungen, welche auf die Entladung sonst noch von Einfluss sein können, vor Allem die Form und Grösse der Elektroden, zwischen denen die Entladung stattfindet, müssen überall die gleichen sein.

4. Der Apparat muss einen vollkommen selbständigen Theil des Instrumentariums, ein in sich selbst abgeschlossenes Ganzes bilden und mit einer jeden Maschine, gleichgiltig welcher Grösse und Construction sich ohne Weiteres (auch während des Ganges der Maschine) verbinden und von ihr trennen lassen.

5. Der Preis des Apparates muss bei exacter Ausführung ein derartiger sein, dass seine allgemeine Anschaffung thunlichst erleichtert wird«.

»Allen diesen Bedingungen glaube ich durch meinen von E. M. Schadewell, Dresden, Scheffelstrasse 16, ausgeführten

Dosirungsapparat nach Kräften gerecht geworden zu sein. Die Einrichtung desselben ist aus Fig. 104 zu ersehen«.

186 Ein Holzkasten K, in welchem auch die Condensatoren beim Transport untergebracht werden können, dient als Basis für das Ganze und zwar zunächst für die isolirenden Stützen 1, 2, *3*, *4*. *3* und *4* tragen je eine Kugel, auf welcher immer einer der drei dem Apparate beigegebenen Condensatoren aufgesteckt werden kann. Jeder solche Condensator besteht aus einer Hartgummitafel, auf deren Vorder- und Rückseite ein rechteckiges Stanniolblatt aufgeklebt ist. Stanniolstreifen vermitteln die Zuleitung zu den Kugeln auf *3* und *4*. An diesen Kugeln angebracht sind noch zwei mit isolirenden Handgriffen und Endkugeln versehene Zuleiter H und H_1, die man, wenn der Apparat in Verbindung mit einer Influenzmaschine treten soll, auf deren beide Conductoren P und P_1 auflegen muss. Innerhalb der aus isolirender Substanz gefertigten Röhren sind je ein Funkenmikrometer untergebracht. Die Schlagweite zwischen ihren Kugeln kann vermittelst Maassstab und Mikrometerschraube abgelesen und eingestellt werden. Die Leitungen L L_1 führen den durch die Funkenstrecken intermittirend gewordenen Strom zu den Elektroden. Durch den Hebel A kann man gegen L L_1 kurzschliessen und, obwohl Maschine und Franklinometer weiterfunctioniren, deren Wirkung von den Elektroden nehmen.

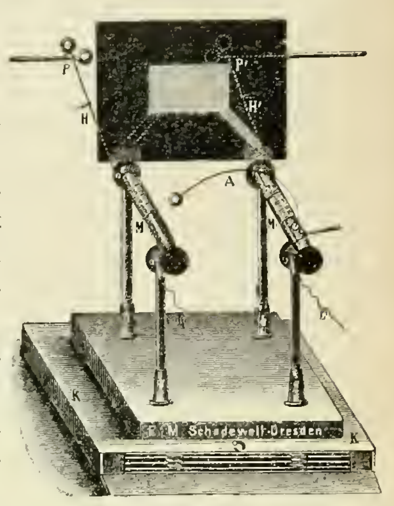


Fig. 104.

»Die Theorie des Apparates findet sich auch in dem Cataloge der Wiesbadener Naturforscherversammlung entwickelt. Hiezu ist zu bemerken, dass, wie oben schon angegeben, nicht mehr Glas-, sondern Hartgummitafeln zu dem Isolator verwendet werden, welche in gleichmässiger Dicke zu haben und weniger gebrechlich sind.«

»Der Hartgummi wird von Schadewell stets aus derselben Fabrik bezogen und mit dem Dickenmesser genau auf seine Gleichmässigkeit geprüft. Man kann daher auch ausser der Dicke die Diëlektricitätsconstante der Platten als nahezu unveränderlich betrachten«.

»Der Grund, warum ich zu dem Apparat nicht nur einen einzigen Condensator, sondern deren drei Stück von verschiedener Capacität genommen habe, liegt in Folgendem:

»Erstens benutze ich zur Behandlung hartnäckiger Neuralgien, bei welchen die gewöhnlichen Methoden (Spitzenelektroden, Flanellplatte etc.) nicht ausreichen, gerne einen möglichst kleinen Condensator, und dient der kleine Condensator I von 25 □cm Belegung hauptsächlich diesem Zwecke. Ausserdem benutze ich Condensator I noch, um, wenn nöthig (bei hartnäckigen Anästhesien z. B.) die auf die Haut überspringenden Funken zu verstärken. Besonders aber bin ich zur Anwendung verschieden grosser Condensatoren durch folgende Beobachtung geführt worden. Bei der Einwirkung auf motorische Nerven resp. Muskeln zeigt sich nämlich, dass das Auftreten der ersten Zuckung nicht allein von einem bestimmten Werthe der elektrischen Energie (wie z. B. die Erwärmung eines Drahtes im Schliessungsbogen) abhängig ist, sondern dass hiebei die Capacität des verwendeten Condensators ganz wesentlich mit in Frage kommt«.

»Bei Betrachtung der nachstehenden Tabelle der relativen Energiewerthe (für Schlagweiten von 1 bis 6 Millimeter) ergibt sich sofort, dass z. B. Condensator I bei einer Schlagweite von 4 mm dieselbe elektrische Energie entwickelt, wie Condensator III bei 2 mm«.

Potentiale (Schlagweiten in Mm)	1	2	3	4	5	6
Condensator I Capacität 1 .	1	4	9	16	25	36
„ II „ 2	2	8	18	32	50	72
„ III „ 4 .	4	16	36	64	100	144

»Die Erwärmung eines Drahtes würde auch in beiden Fällen die gleiche sein. Anders beim motorischen Nerven und Muskel. Hier hat sich mir in einer ganzen Reihe von Fällen ein Reiz mit Condensator I bei 4 mm etwa gleichwerthig einem solchen mit Condensator III bei etwa 1 mm Schlagweite erwiesen«.

»Die Einwirkung auf den (motorischen) Nerven scheint also wesentlich abhängig zu sein von der Capacität des verwendeten Condensators«.

»Es gibt aber noch einen practischen Grund, warum es wünschenswerth erscheint, den gleichen Effect das eine Mal mit kleineren, das andere Mal mit grösseren Condensatoren zu erreichen. Da nämlich die mechanische Kraft der Entladung (ekphorische Wirkung) vorzüglich abhängt von der Höhe der bei der Entladung ausgeglichenen Potentialdifferenz, so erscheint es zweckmässig, kleine Condensatoren dort zu verwenden, wo man neben der reinen Muskel- oder Nervenreizung noch eine ekphorische Wirkung beabsichtigt (bei Anwesenheit entzündlicher Exsudate oder bei Oedemen innerhalb der Muskeln, resp. deren Umgebung). In anderen Fällen, wo diese Nebenwirkung nicht so erwünscht ist, treten dann die grösseren Condensatoren in ihr Recht. In letzter Linie wären zu Gunsten verschieden grosser Condensatoren vom rein physiologischen Standpuncte aus entschiedene Vortheile gewährt«.

»Selbstverständlich müssen die betreffenden Condensatoren stets in genau dem gleichen Verhältnisse zu einander stehen, und halte ich das von mir gewählte von 1 : 2 : 4 für einfach genug, um auch von Anderen acceptirt werden zu können«.

»Hinzuzufügen ist noch, dass auch bei Verwendung meines Apparates die Ergiebigkeit der Maschinen bezüglich der von ihnen gelieferten Elektricitätsmengen insofern berücksichtigt werden muss, als bei einer ergiebigeren Maschine die gleiche Zahl von Einzelreizen in kürzerer Zeit erreicht wird, die Dauer der Sitzung also eine kürzere sein muss, als bei einer schwächeren Maschine.



Namen- und Sach-Register.

(Die hinter den Worten stehenden Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)



